2) $m_1 << m_2$ y $V_2 = 0$:

⇒ por ejemplo: choque perpendicular de una bola con una muralla. Las ecns. (5.2-10/11) conducen a:

$$u_1 \approx -v_1 \qquad u_2 \approx 0 \qquad (5.2-14\ a/b)$$

La bola vuela de vuelta con la velocidad opuesta, del mismo módulo (rapidez).

El cambio de Impulso/Momento es $-2m_1\vec{v}_1$.

⇒ La pared recibió el "Golpe de Fuerza" (Impulso) $2m_1\vec{v}_1$, pero, por $u_2 \approx 0$, no recibió casi ninguna Energía.

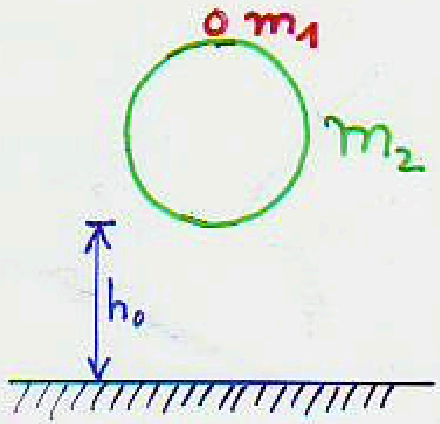
Ejemplo (5.2-4):

Doble choque Espectacular:

Colocamos cuidadosamente una pequeña bola m_1 sobre una bola grande m_2 y dejamos caer ambas con poca distancia una después de la otra desde una altura h_0.

Si se logra, que la pequeña bola caiga <u>exactamente</u> sobre la bola grande (sin trasladar en forma lateral), entonces observamos para nuestra gran sorpresa: La bola pequeña se eleva aprox. hasta cuatro veces mas ($4 \cdot h_0$) después del doble golpe contra el suelo,

En el caso ideal (sin roce y $m_1 \ll m_2$) se lograra incluso $9 \cdot h_0$.



a) Compruebe este Experimento através del cálculo de las choques elásticos (caso ideal)

b) ¿Qué altura h puede lograr una tercera bola con la masa $m_0 \ll m_1$ colocada sobre a masa m_1, en el caso ideal?

c) Discuta las "aplicaciónes" del choque doble, los cuales se presentan en la solución.

Solución:

a) El experimento consiste de 4 etapas:

1. Ambas bolas caen simultaneamente, una tras la otra al suelo.
2. La bola grande choca con el suelo.
3. La bola pequeña choca con la bola grande, la cual ya nuevamente vuela hacia arriba.
4. La bola pequeña vuela después del choque con la bola grande hacia arriba.

Calculamos las 4 etapas una tras la otra:

1) Inmediatamente antes del choque en el suelo las bolas tienen la velocidad:

$$v_1 = v_2 = \sqrt{2gh_0}.$$

2) La bola pesada m_2 choca con el suelo y vuelve hacia arriba cuando choca con la bola m_1. Antes de este choque las bolas tienen las velocidades:

$$\hat{v}_1 = v_1 = \sqrt{2gh_0} \quad y \quad \hat{v}_2 = -v_2 = -\sqrt{2h_0 g}$$

3) Después del choque entre m_1 y m_2 la masa pequeña m_1 tiene según ecu. (5.2-10) la velocidad:

$$u_1 = -\hat{v}_1 + 2\hat{v}_2 = -3\sqrt{2gh_0} \quad \text{para } m_1 << m_2$$

(La bola grande lanza la pequeña como la raqueta la liviana pelota de tenis).

4) Por el Teorema de Energía la bola pequeña logra finalmente la altura

$$\underline{h} = \frac{u_1^2}{2g} = \frac{9v_1^2}{2g} = \underline{\underline{9h_0}}$$

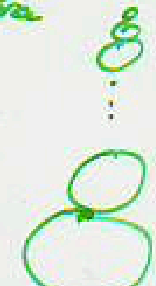
En la realidad los choques no son totalmente elásticos, hay roce con el aire y la condición $m_1 << m_2$ se cumple insatisfactoriamente. Por eso se obtiene en la práctica solamente $h \leq 4h_0$.

b) Con tres pelotas / bolas la bola superior llega en el <u>caso ideal</u> a una altura de $49h_0$; Con 4 bolas $225h_0$. Con n bolas la bola superior llega en el caso ideal a una altura

$$h=(2^n-1)^2 h_0 .$$

(⇒ Comprobación con Inducción completa.)

Con 11 bolas, cayendo una tras la otra desde una altura de 1m, la bola superior llega <u>en el caso ideal</u> a una velocidad inicial de 9,07 Km/s y entonces a una trayectoria de órbita terrestre.



n = 11

Para una trayectoria circular al rededor de la tierra, la Fuerza Centrifugal tiene que ser igual a la Fuerza de gravitación.

⇒ Para una trayectoria circular <u>cerca</u> de la tierra, vale:

$$mg = mv^2/r \iff v=\sqrt{g\cdot r} = 7,9\,\frac{km}{s}$$

Experimento: Con 3 bolas de goma

c) Con la teoría de las bolas que chocan, se pueden explicar 2 fenómenos interesantes de la Física:

1) colapso de una "Supernova":

(i) → colapso rápido de la estrella

(ii) → expulsando materia con velocidades relativísticas al espacio.

(acumulación de Elementos pesados en el núcleo de este "sol pesado", resultando en una "onda de choque" desde el denso nucleo hacia afuera, chocando con las capas externas y expulsando esta materia con velocidades relativísticas al espacio).

2) Investigación de los planetas externos por las sondas americanas Pioneer y Voyager:
Fue posible por la maniobra "swing-by":
Sonda se acerca a Jupiter y vuela en la trayectoria de una hyperbola casi 90 grados al rededor de Jupiter. Gracias a este "choque" con el Jupiter el viaje al Neptuno acortó de 30 años a 12 años.

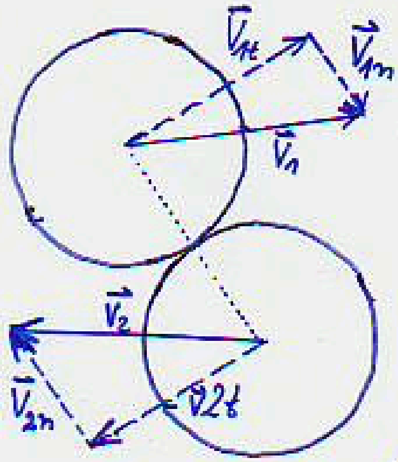
Choque elástico, no-central:

- Las velocidades $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$ no están directamente en la "recta central" de las esferas.

  ⇒ Choque no-central.

→ se puede reducir a un choque central, si las superficies de las esferas son perfectamente lisas.

  ⇒ en este caso las bolas resbalan sin roce, es decir, sin fuerzas tangenciales.



El traspaso del Impulso/Momento entre las esferas resulta efectivo a lo largo de línea puntada (Centro de Masa 1 – Punto de contacto – Centro de Masa 2)

Las velocidades $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$ de las esferas antes del choque consisten de dos componentes ∥ y ⊥ a la normal del choque. (→ Figura).

Los componentes tangenciales v_t se conservan, las componentes normales v_n están sujetas a las leyes del choque elástico central.

→ Superficies de lo esferas aspera y con roce:

⇒ también se traspasen Fuerzas ∥ a la superficie de contacto

⇒ intercambio de Energía de rotación.

⇒ "Topspin" en el Tenis (Ping Pong)

Choque central, inelástico:

→ No hay conservación de energía cinética T o E_{kin}

→ Transformación a Calor o Energía de Deformación.

→ Si se conocen la pérdida de Energía ΔT, del choque se pueden calcular con el

a) Teorema de Impulso / Momento y

b) Teorema general de Energía:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2$$

$$\frac{m_1}{2} v_1^2 + \frac{m_2}{2} v_2^2 = \frac{m_1}{2} u_1^2 + \frac{m_2}{2} u_2^2 + \Delta T$$

Con ΔT conocido se calcula u_1, u_2.

Muchas veces después del choque ambos cuerpos se mueven con la misma velocidad:

$$u_1 = u_2 =: u$$

Para determinar la incógnita única "u" es suficiente aplicar el Teorema de Impulso:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2)\, u$$

$$\boxed{u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad \text{para } u_1 = u_2 =: u} \qquad (5.2\text{-}15)$$

La pérdida de Energía cinética ΔT se puede calcular en este caso.

Ejemplo (5.2-5):

Cargando un vagón de transporte/carga:

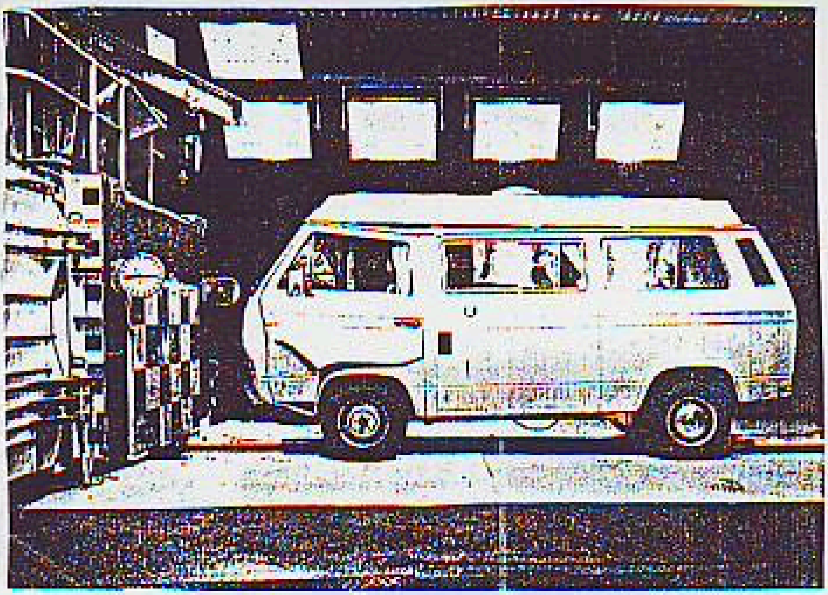
Un Vagón de la masa $m_1 = 6 \cdot 10^3\,kg$ recorre con una velocidad $v_1 = 1\,m/s$. ¿Con qué velocidad continúa viajando después de recibir $\perp$ desde arriba $m_2 = 5 \cdot 10^3\,kg$ minerales.

Solución: Es un choque central e inelástico en dirección horizontal con una velocidad inicial de los minerales $v_2 = 0$. $\Rightarrow$ $u = \dfrac{m_1 v_1}{m_1 + m_2} = \dfrac{6}{11}\,\dfrac{m}{s}$

Colisión en Providencia

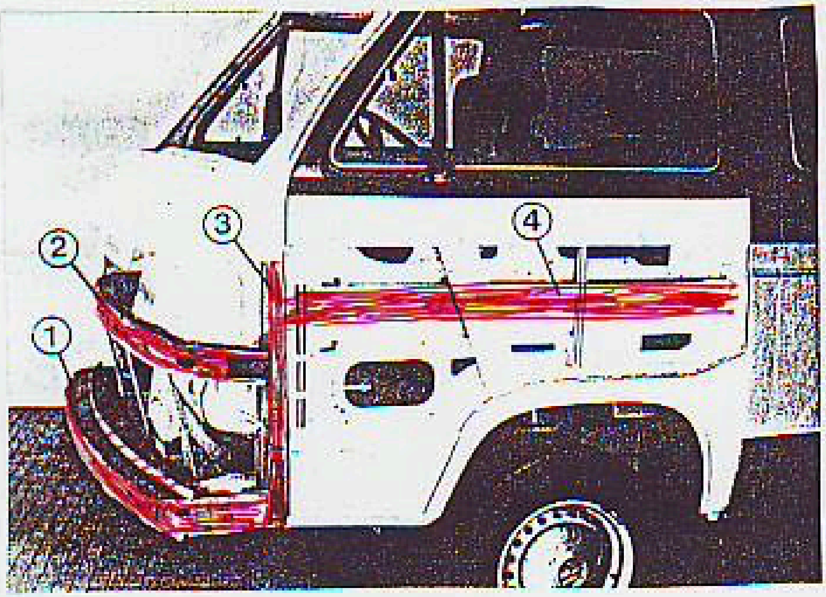
Un furgón utilitario Hyundai perteneciente al Hogar de Cristo colisionó a las 08.30 horas de ayer con un automóvil particular en la intersección de avenida Los Leones con Carlos Antúnez. El accidente habría ocurrido luego que el conductor del vehículo menor perdiera el control de la máquina, por lo que fue detenido mientras se establecen las responsabilidades. El chofer del Hogar de Cristo, Hernán Becerra, fue rescatado por Bomberos de la 14.a Compañía de Santiago y trasladado hasta la posta del Hospital del Salvador, afectado de una fractura cervical.

EL MERCURIO 3/8/2001 C6

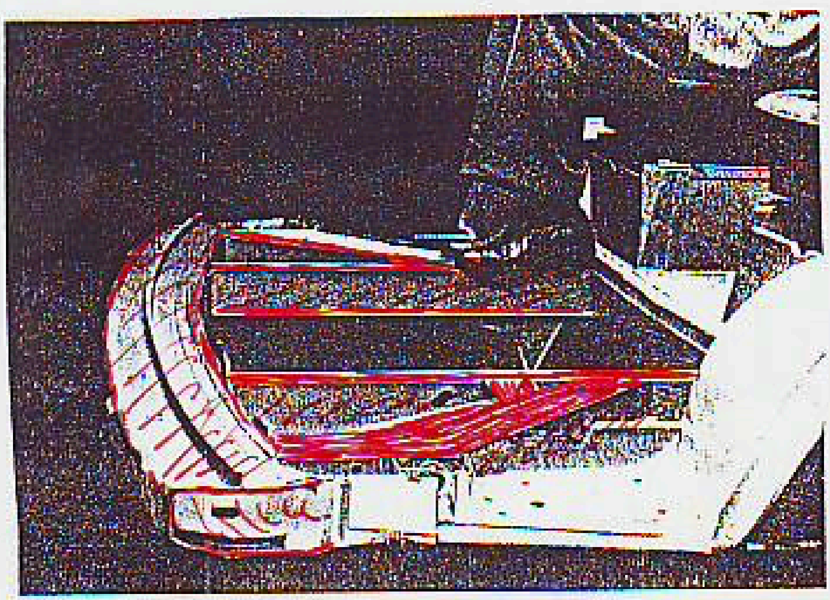


"Momentum"

Choque con 50 km/h con una pared



Elementos de protejion para Choque inelastico.



conversion de energia cinetica en "Calor"

otra forma de energia

gentileza Volkswagen-Werk.

más información en http://www.adac.de

Ejemplo (5.2-6):

Velocidad de un Proyectil:

Un proyectil de arma de $m_1 = 10g$ se disparara sobre un trozo de madera en reposo, de masa $m_2 = 3kg$, colgando (como péndulo) de 4 hilos. El proyectil se introduce en la madera sin salir. Después del impacto el trozo oscila hasta una altura $h_0 = 0{,}1m$.

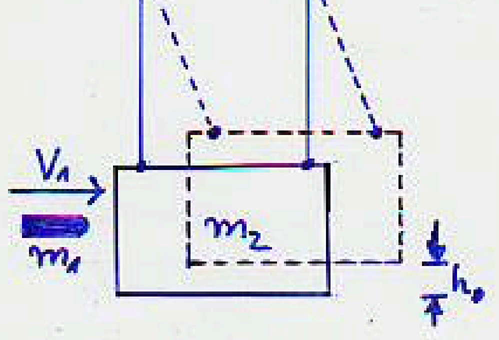
Calcule la velocidad v_1 del proyectil.

Solución:

El teorema de Energía no vale, porque se transformara E_{kin} a Calor ("Roce"). El teorema de Impulso sin embargo vale:

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2) V_{max}$$

con $V_{max} \triangleq$ velocidad de Péndulo (trozo) en el mínimo.



Para la oscillación del péndulo después del impacto vale el teorema de Energía, porque no se tome en cuenta el roce y la oscillación es un suelo mecánico puro.

El teorema de Energía para el péndulo es:

$$(m_1 + m_2)\, g \cdot h_0 = \frac{m_1 + m_2}{2} V_{MAX}^2$$

$$V_{MAX} = \sqrt{2gh_0}$$

$$V_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \sqrt{2gh_0} \approx 422 \frac{m}{s}$$

<u>Nota</u>: Para la penetración del proyectil vale el teorema de Impulso solamente, si el péndulo (= trozo de madera) durante la penetración no mueve considerablemente. En caso contrario los 4 cuerdas actúan con una fuerza horizontal y el sistema no es cerrado / aislado en dirección horizontal.

Nota final al capítulo 5.2:

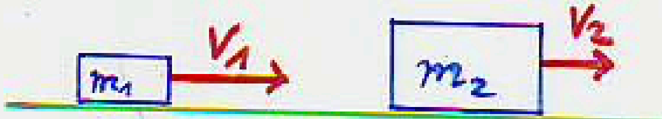
Algunos autores introducen para los choques no perfectamente elásticos el <u>coeficiente de restitución "e"</u>:

$$\boxed{u_2 - u_1 = -e(V_2 - V_1)}$$

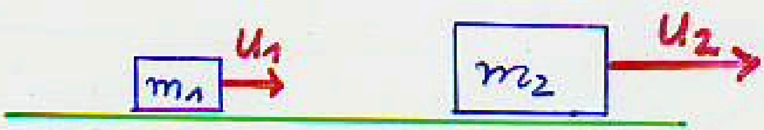
Para el choque perfectamente elástico es $e=1$.
Para un choque perfectamente inelástico es $e=0$.

El coeficiente de restitución e mide entonces la elasticidad del choque.

$V_2 - V_1$: velocidad relativa de aproximación.
$u_2 - u_1$: velocidad relativa de retroceso.



ANTES del choque



DESPUES del choque