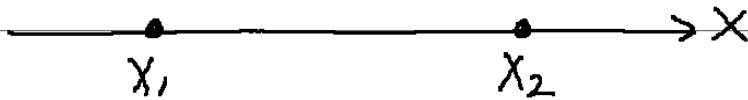


5. אנרגיה וזרימה

5.1 זרימה באינטגרל

נחשב באינטגרל את ערך גודל F של כוח F שהתחיל בנקודה x_1 ונגמר בנקודה x_2 :



הזרימה של תנועה מסת נקראת עבודה

$$W_{12} = \int_{x_1}^{x_2} F dx$$

$$[W] = \text{Nm} = \text{J}$$

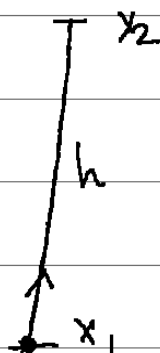
↑
"Joules"

זרימה יכולה להיות חיובית, אפס, או שלילית.

גודל $v = \frac{dx}{dt}$, אבל עבודה: $(dx = \frac{dx}{dt} dt)$

$$W_{12} = \int_{t_1}^{t_2} F v dt$$

צדקה:



כבוד נכבד, עמנו.

הנה פתרון מהכיתה:

$$F = -mg$$

$$W_{12} = \int_{x_1}^{x_2} (-mg) dx = -mgh.$$

הצורה של "כ" עכ"ל ה"ק"ו, ו"ו"ה ע"כ"ו
הצורות של כ"ו ע"ו"ה ג"כ"ו:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + \dots$$

$$W_{12} = \int_{x_1}^{x_2} F dx = \int_{x_1}^{x_2} (F_1 + F_2 + F_3 + \dots) dx$$

$$= W_{12, F_1} + W_{12, F_2} + W_{12, F_3} + \dots$$

5.1.2. עבודה פשוטה

עבודה פשוטה :

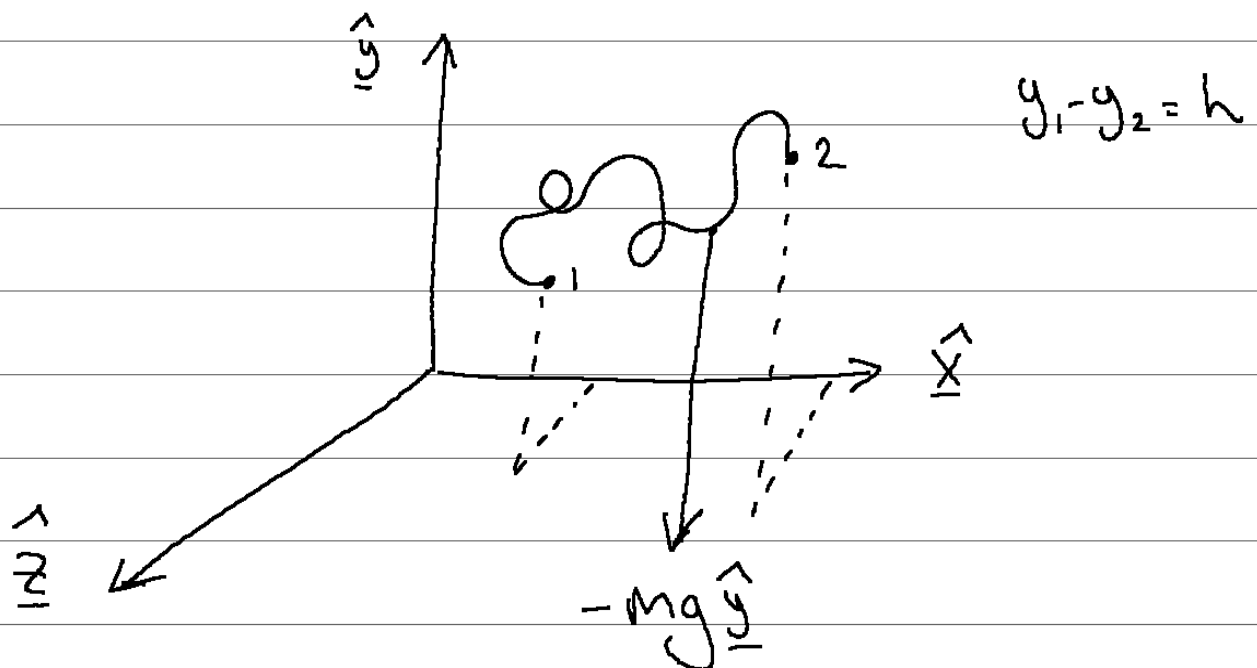
$$W_{12} = \int_{t_1}^{t_2} \underline{F}(t') \cdot \underline{v}(t') dt' = \int_1^2 \underline{F} \cdot d\underline{r}$$

$$\underline{F} = F_x \hat{x} + F_y \hat{y} + F_z \hat{z}$$

$$d\underline{r} = dx \hat{x} + dy \hat{y} + dz \hat{z}$$

$$\underline{v} = v_x \hat{x} + v_y \hat{y} + v_z \hat{z}$$

דוגמה : עבודה של כוח כבידה (גבידה) :



$$F_x = 0, \quad F_y = -mg, \quad F_z = 0$$

$$W_{12} = \int_1^2 F_y dy = \int_{y_1}^{y_2} (-mg) dy = -mgh$$

העבודה של כבידה לא תלויה במסלול, רק בגובה ההתחלה והסוף.

כוח שלאר הוא כוח קהצבודה שלו תלויה רק בקוצת ההתחלה והסוף.

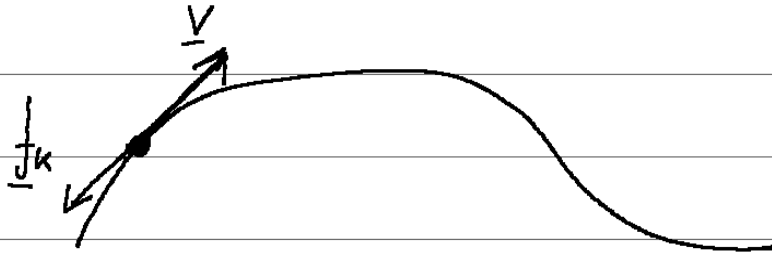
כל כוח קבוצ הוא כוח שלאר:

$$W_{12} = \int_1^2 \underline{F} \cdot d\underline{r} = \underline{F} \cdot \int_1^2 d\underline{r} = \underline{F} \cdot (\underline{r}_2 - \underline{r}_1)$$

$$W_{12} = \underline{F} \cdot (\underline{r}_2 - \underline{r}_1)$$

כוח שלאר:

ציונה: ציונה של כוח חיכוך קינטי \vec{f}_k של גוף
אופקי, אחיד (SS אס):



$$\underline{f}_k = -M_k |\underline{N}| \underline{\hat{v}} \quad , \quad |\underline{N}| = mg$$

$$\Rightarrow \underline{f}_k = -M_k mg \underline{\hat{v}}$$

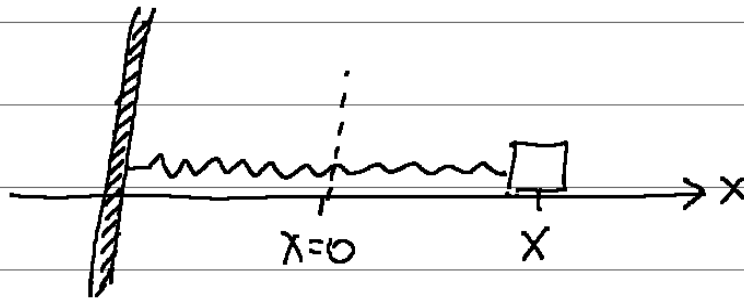
$$W_{12} = \int_{t_1}^{t_2} (-M_k mg \underline{\hat{v}}) \cdot \underline{v} dt'$$

$$= -M_k mg \int_{t_1}^{t_2} |\underline{v}| dt' = -M_k mg S_{12}$$

$$W_{12} = -M_k mg S_{12} \quad : \text{כוח חיכוך קינטי}$$

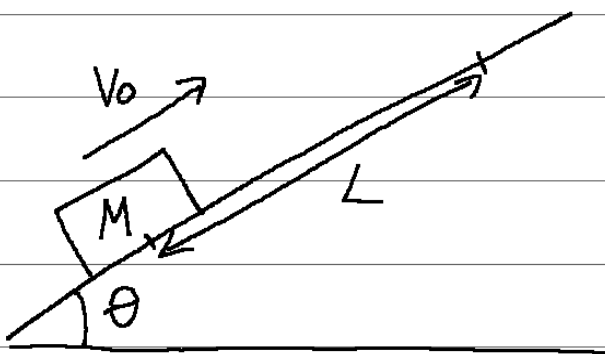
כאשר S_{12} היא הפרק של הגוף הנע בין הנקודות

תשובה: הפירוק של כוח זה:



$$F_x = -kx$$

$$W_{12} = \int_{x_1}^{x_2} (-kx) dx = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}$$



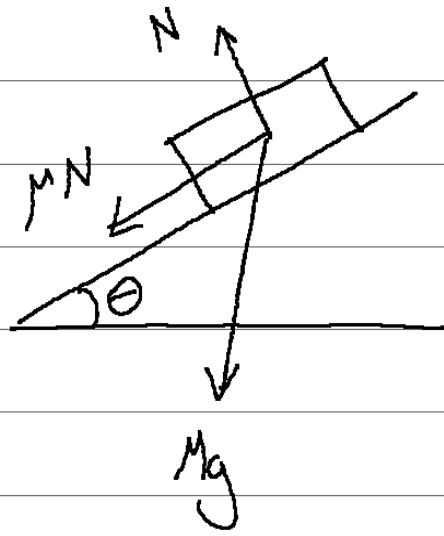
תשובה:

$$W_g = -MgL \sin \theta$$

$$W_f = -\mu |N| L = -\mu Mg \cos \theta L$$

חיכוך:

כוח נורמלי: $W_N = 0$, $\underline{N} \cdot \underline{v} = 0$



עבודה: $W = W_g + W_{\mu} = -MgL(\sin\theta + \mu\cos\theta)$

5.2. אנרגיה קינטית

האנרגיה הקינטית של גוף היא (גודל סקלרי):

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

אנרגיה קינטית יש לה, גם אם היא נעה במהירות.

יש עבודה ואנרגיה קינטית יחס שווים :

$$W_{12} = \int_{t_1}^{t_2} F \cdot v \, dt = \int_{t_1}^{t_2} m v \frac{dv}{dt} \, dt$$

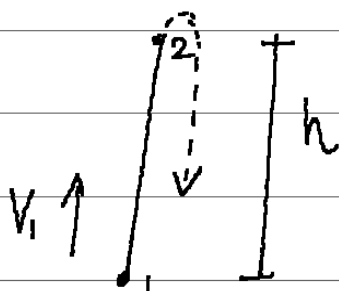
$$= \int_{v_1}^{v_2} m v \, dv = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

העבודה היא שווה האנרגיה הקינטית:

$$W_{12} = K_2 - K_1$$

אנרגיה קינטית היא שונה שווים עבודה:

דוגמה:



$$W = -mgh = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

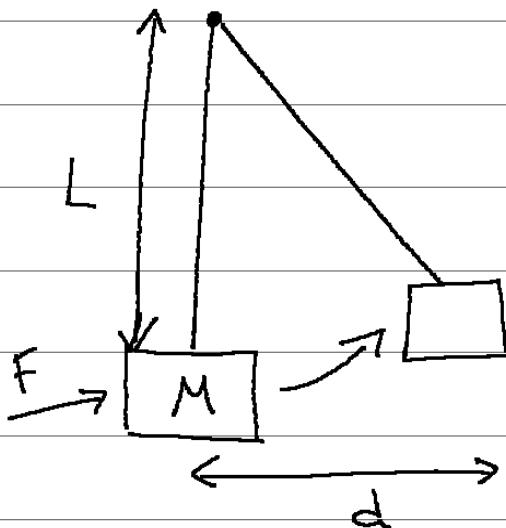
$$\Rightarrow h = \frac{v_1^2}{2g}$$

פירוק ויכוחים:

$$K = \frac{1}{2} m \underline{v} \cdot \underline{v} = \frac{1}{2} m |\underline{v}|^2$$

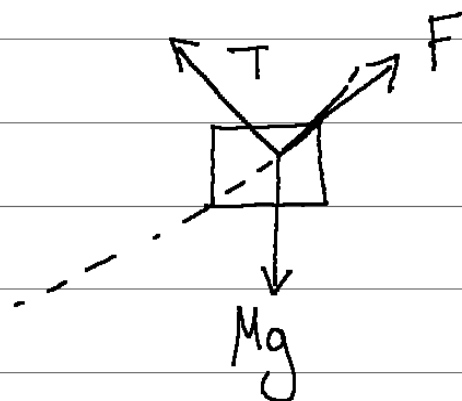
כוחות, ויכוחים, $W_{12} = K_2 - K_1$

צורה:



מה הצורה, אילו ערכים הכוח F?

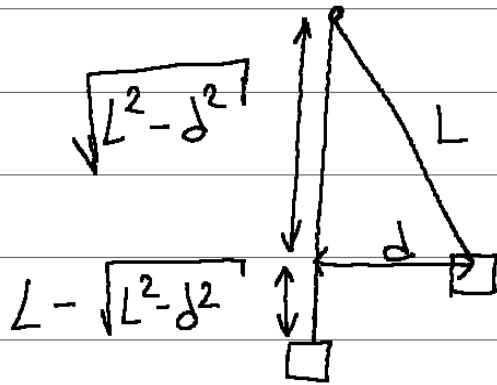
$$(v_1 = v_2 = 0)$$



כוחות מופיעים:

כוח האסתיות T לציב למערכת הכוללת
ועם $\int \underline{F} \cdot d\underline{r}$ $\int \underline{F} \cdot d\underline{r}$

התוצאה δP כוח הכבידה תלויה בה, גזירה



$$W_g = -Mg(L - \sqrt{L^2 - d^2})$$

התוצאה הנכונה:

$$W_{12} = k_2 - k_1 = 0$$

$$\Rightarrow \underline{W_F = -W_g = Mg(L - \sqrt{L^2 - d^2})}$$

5.4. אנרגיה פוטנציאלית

נתחם את עבודת הכוח הכובדי בעזרת:

העבודה, היא:

$$W_{12} = -mgh = -mg(y_2 - y_1)$$

ובהשוואת עבודת הכוח הכובדי:

$$W_{12} = -mg(y_2 - y_1) = k_2 - k_1$$

אפשר לרשום את זה:

$$mgy_1 + k_1 = mgy_2 + k_2$$

אנרגיה פוטנציאלית של כובד היא:

$$U = mgy$$

כך אפשר לרשום:

$$U_1 + k_1 = U_2 + k_2$$

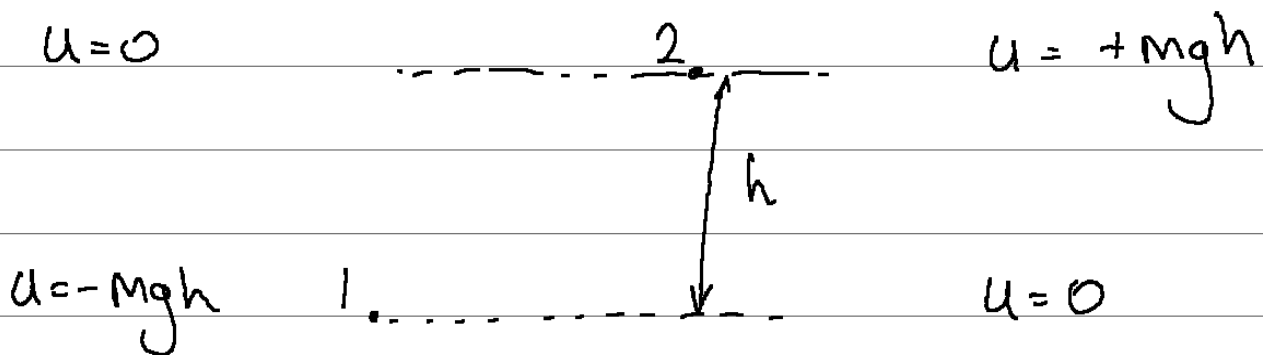
זה אומר שסכום האנרגיה הקינטית והאנרגיה הפוטנציאלית נשמר. קוראים לסכום אנרגיה מכנית.

$$E_1 = U_1 + K_1 = U_2 + K_2 = E_2$$

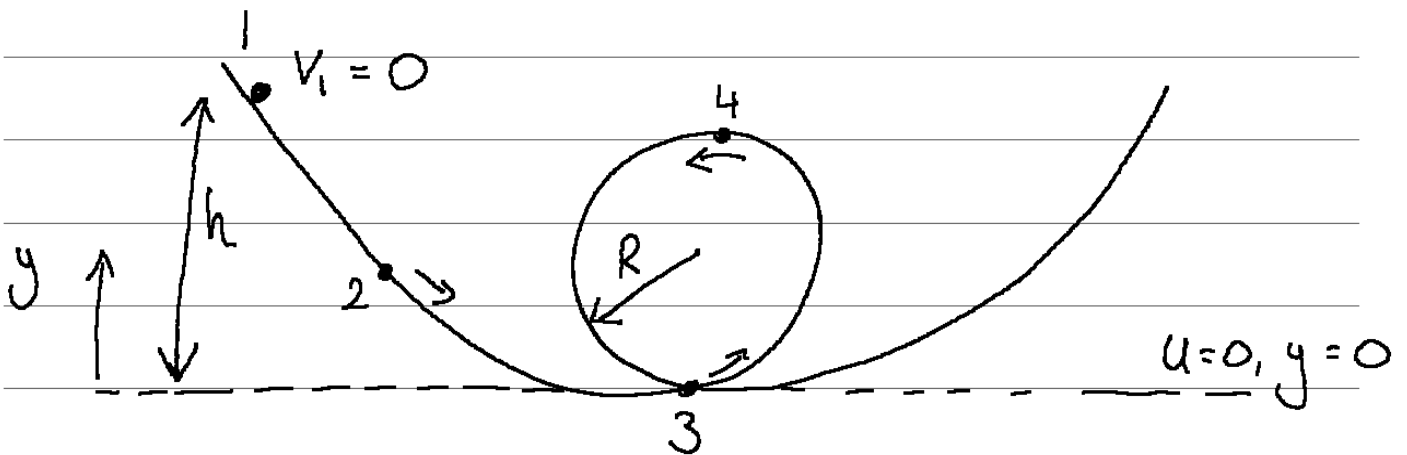
אנרגיה מכנית נשמרת רק אם הכוח שפועל נשמר!

אנרגיה קינטית שווה ל-0 כאשר המהירות היא 0.

אם האדם של אנרגיה פוטנציאלית אפשר לבחור אותה שרצויים. כל מה שתשוב זה השני באנרגיה.



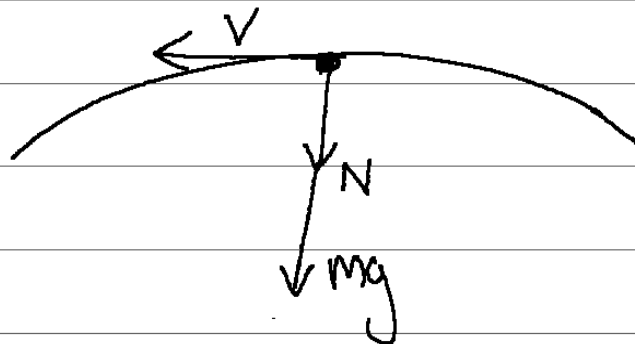
הנחיה:



$$U_1 + K_1 = U_2 + K_2 = U_3 + K_3 = U_4 + K_4$$

(גורמה להחזיק הוא צמיח.)

$$Mgh = Mgy_i + \frac{1}{2}mv_i^2, \quad i=2,3,4.$$



תנאי 4:

$$N + mg = m \left(\frac{v^2}{R} \right) \quad \text{ניוטון 2:}$$

תאונה צנטריפטיים

$$N \geq 0 \Rightarrow \underline{v^2 \geq gR}$$

∴ כדאי לנתח את המצב

$$mgh = mg2R + \frac{1}{2}mv_4^2$$

$$\geq mg2R + \frac{1}{2}mgR$$

$$\Rightarrow \boxed{h \geq \frac{5}{2}R}$$