



*აგრეთვე ჭრებნიშუაღანს ხახვლამანს  
ბძალანს ხახვლმწიგნო ანახვემსთიქეფი*

# ფიზიკის შესავალი

## ლექცია 7

მუშაობა და სიმძლავრე  
კინეტიკური და პოტენციური ენერგია  
ენერგიის შენახვის კანონი

# წინა ლექციაში

ძალა და იმპულსი  
იმპულსის შენახვის კანონი

დრეკადი და არადრეკადი დაჯახებები

მასათა ცენტრი  
მასათა ცენტრის მოძრაობა

რეაქტიული მოძრაობა

## მუშაობა

ჩვენ ვასრულებთ მუშაობას მაგალითად როდესაც ვიღებთ წიგნს, გადავაადგილებთ სკამს ან ვაწვებით მანქანას:

სხეულზე ვმოქმედებთ ძალით, რომელიც იწვევს მის გადაადგილებას



## მუშაობა

მუშაობა როდესაც სხეულზე ვმოქმედებთ **მუდმივი ძალით** რომელიც იწვევს მის **წრფივ გადაადგილებას**

$$A = F S$$

A – მუშაობა

F – ძალა

S – გადაადგილება

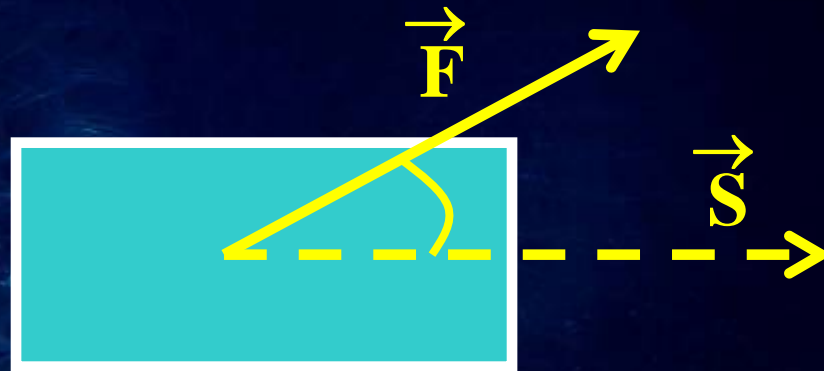
SI სისტემაში მუშაობის ერთეული ემთხვევა ენერჯიის ერთეულს:

$$1 \text{ ჯოული} = ( 1 \text{ ნიუტონი} ) \times ( 1 \text{ მეტრი} )$$

## მუშაობა

შეიძლება მანქანა გადაადგილდებოდეს ადამიანის მიერ მოდებული ძალის მიმართ კუთხით:

მანქანის გადაადგილების მიმართულება განისაზღვრება ძალთა ტოლქმედით, რომელიც არ ემთხვევა ადამიანის მიწოდის მიმართულებას:



ადამიანის მიერ შესრულებული მუშაობა

$$A = F S \cos(\alpha)$$

## მუშაობა

ძალა და გადაადგილება: ვექტორები  
მუშაობა: სკალარი

მუშაობას ასრულებს კონკრეტული ძალა

სხეულის წრფივი გადაადგილებისას  $F$  ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა:

$$A = \vec{F} \cdot \vec{S}$$

## ნულოვანი მუშაობა

ძალამ შეიძლება შეასრულოს **დადებითი**,  
**უარყოფითი** ან **ნულოვანი** მუშაობა

იმისათვის რომ შევასრულოთ მუშაობა საჭიროა  
სხეულის გადაადგილება

ვაწვებით მანქანას მაგრამ ვერ გადავაადგილებთ:

$$S = 0$$

$$A = 0$$



## უარყოფითი მუშაობა

შეიძლება სხეული გადაადგილდებოდეს ერთ–ერთი მოქმედი ძალის საწინააღმდეგოდ. ამ შემთხვევაში ძალის შესრულებული მუშაობა უარყოფითი სიდიდეა



$$A < 0$$





## სრული მუშაობა

სხეულზე შესრულებული სრული მუშაობა უდრის მასზე მოქმედი ძალების მიერ შესრულებული მუშაობების ჯამს

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots$$

მუშაობა სკალარული სიდიდეა, ამიტომ მათი აჯამვა შესაძლებელია სხეულის გადაადგილების მიმართულების გათვალისწინების გარეშე

## მუშაობა და ენერგია

სხეულზე შესრულებული მუშაობის შედეგად მას გადაეცემა ენერგია

ვთქვათ გაჩერებულ სხეულზე ვმოქმედებთ  $F$  ძალით:

$$\mathbf{F} = m \mathbf{a}$$

მუდმივი ძალა – მუდმივი აჩქარება:

$$\mathbf{a} = (\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2) / 2 S$$

## მუშაობა და ენერგია

ჩასმის შემდეგ:

$$F = m (V_2^2 - V_1^2) / 2 S$$

ნულოვანი საწყისი სიჩქარე:  $V_1 = 0$ ,  $V \equiv V_2$

$$F S = m V^2 / 2$$

მუშაობის შედეგად სხეულმა დაიწყო მოძრაობა, ანუ მას მივანიჭეთ **კინეტიკური ენერგია**

## კინეტიკური ენერგია

სხეულის კინეტიკური ენერგია ტოლია მისი მასისა და სიჩქარის კვადრატის ნამრავლის ნახევარს:

$$E_k = m V^2 / 2$$

სხეულზე შესრულებული  $A$  მუშაობის შედეგად მას გადაეცა  $E_k$  კინეტიკური ენერგია:

$$A = E_k$$

## ენერგია–მუშაობის თეორემა

სხეულზე მოქმედი ძალთა ტოლქმედის მიერ შესრულებული მუშაობა უდრის სხეულის კინეტიკური ენერგიის ცვლილებას

$$A = \Delta E_k$$

კინეტიკური ენერგიის ცვლილება:

$$\Delta E_k = m (V_2^2 - V_1^2) / 2$$

## მაგალითი #1

ორ იალქნიან ნავზე მოქმედებს ერთიდაიგივე ქარის გამწევი ძალა  $F$ . პირველი ნავის მასაა  $m_1$ , მეორესი  $m_2$ . ქარის ზემოქმედების ქვეშ ნავებმა გაცურეს  $S$  მანძილი. რომელ ნავს ექნება მეტი კინეტიკური ენერგია დისტანციის ბოლოს?

$$F = m_1 a_1$$

$$F = m_2 a_2$$

გამოვითვალოთ  $a_1$ ,  $a_2$ , გამოვითვალოთ სიჩქარე დისტანციის ბოლოს  $V_1$ ,  $V_2$  და ვიპოვოთ კინეტიკური ენერგიები:

$$E_k = m V^2/2$$

# მაგალითი #1

ალტერნატიული გზა

ქარის მუშაობა:  $A_1 = A_2 = F S$

$$E_{k1} = E_{k2} = A$$

დისტანციის ბოლოს ნავებს ექნებათ ტოლი  
კინეტიკური ენერგია

## მუშაობა და დრო

სხეულზე შესრულებული მუშაობა უდრის კინეტიკური ენერგიის ცვლილებას ნებისმიერ დროის ინტერვალში;

ერთიდაიგივე მუშაობის შესრულება, ანუ კინეტიკური ენერგიის ცვლილება შეიძლება სხვადასხვა დროის ინტერვალში;

რაც უფრო მცირეა **დროის ინტერვალი**, ანუ რაც უფრო **სწრაფად** შეგვიძლია მუშაობის შესრულება, მით უფრო მეტია – **სიმძლავრე**



## სიმძლავრე

სიმძლავრე შეიძლება გამოვსახოთ როგორც მუშაობის შესრულების ან ენერჯიის ცვლილების სიჩქარე

$$P = \Delta A / \Delta t = \Delta E_k / \Delta t$$

ცვლადი მუშაობის პირობებში შეგვიძლია განვსაზღვროთ მყისი სიმძლავრე

$$P = \Delta A / \Delta t , ( \Delta t \rightarrow 0 )$$

## სიმძლავრის ერთეულები

SI სისტემაში სიმძლავრის ერთეულია ვატი:

$$1 \text{ ვატი} = 1 \text{ ჯოული} / 1 \text{ წამი}$$

კილოვატი = 1000 ვატი

100 ვატიანი ნათურა: ყოველ 1 წამში გარდაქმნის 100 ჯოულ ელექტროენერგიას გამოსხივებასა და სითბოში

# სიმძლავრე და ენერგია

$$E = P \Delta t$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ კილოვატ საათი} &= 1000 \text{ ვტ} \times 3600 \text{ წამი} = \\ &= 3,6 \cdot 10^6 \text{ ჯოული} = 3,6 \text{ მეგა ჯოული} \end{aligned}$$

*ტრადიციული ერთეულები:*

$$1 \text{ ცხენის ძალა} = 746 \text{ ვატი}$$



## სიჩქარე და სიმძლავრე

სხეულზე მოქმედი მუდმივი  $F$  ძალა იწვევს სხეულის  $\Delta S$  გადაადგილებას

ძალის მუშაობა:  $\Delta A = \vec{F} \Delta \vec{S}$

სიმძლავრე:  $P = \Delta A / \Delta t$

$$P = \vec{F} \Delta \vec{S} / \Delta t$$

$$P = \vec{F} \vec{V}$$

## ამოცანა #1

ჩიკაგოს ყველაზე მაღალ შენობაში 50 კგ მასის მორბენალი პირველიდან ბოლო სართულამდე კიბეებით არბის 15 წუთში. გამოთვალეთ მორბენალის საშუალო სიმძლავრე თუკი შენობის სიმაღლეა 443 მეტრი.

---

$$15 \text{ წუთი} = 900 \text{ წამი}$$

## ამოცანა #1

ვთქვათ გადაადგილების ვექტორი ვერტიკალურია:

$$\Delta S = H$$

მორბენალი თავის თავზე მოქმედებს ძალით რომელიც ეწინააღმდეგება სიმძიმის ძალას:

$$A = mg H$$

$$A = 50 \text{ კგ} \cdot 9.8 \text{ მ/წმ}^2 \cdot 443 \text{ მ} = 2.17 \cdot 10^5 \text{ ჯოული}$$

$$P = A / t = 2.17 \cdot 10^5 \text{ ჯ} / 900 \text{ წმ} = 241 \text{ ვატი}$$

$$P = 241 / 746 = 0.32 \text{ ცხენის ძალა}$$

## პოტენციური ენერგია

კინეტიკური ენერგია ასახავს სხეულის მოძრაობის ენერგიას

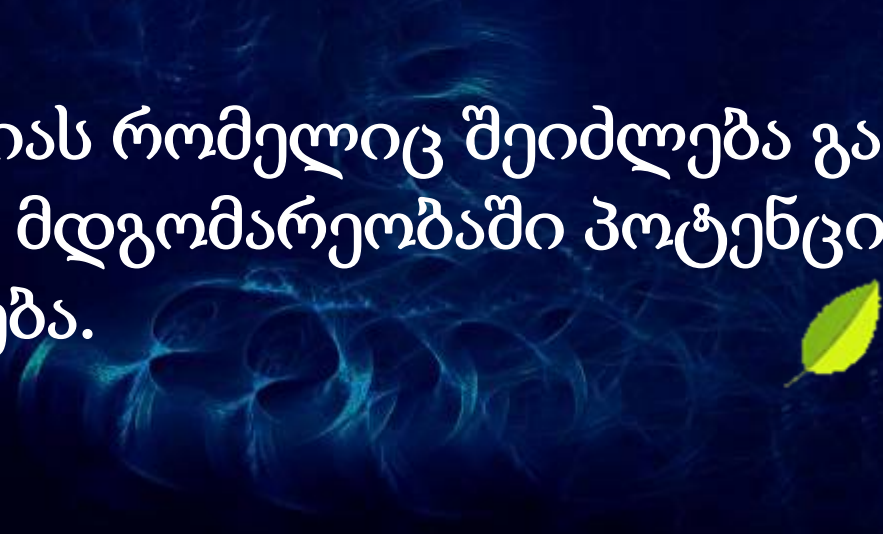
მუშაობა დაკავშირებულია გადაადგილებასთან, ანუ მოძრაობასთან

სისტემას ასევე შეიძლება გააჩნდეს ენერგია, რომელიც დაკავშირებულია მის მდგომარეობასთან, და არა მოძრაობასთან

## პოტენციური ენერგია

ზოგიერთ შემთხვევაში შესაძლებელია ენერგიის შენახვა: მაგალითად თუკი სხეულზე შევასრულებთ მუშაობას და ავწევთ მას რაღაც სიმაღლეზე, მოგვიანებით ის ჩვენ შეგვიძლია გავათავისუფლოდ და მისგან მივიღოთ ვარდნის კინეტიკური ენერგია.

ენერგიას რომელიც შეიძლება გააჩნდეს სხეულს უძრავ მდგომარეობაში პოტენციური ენერგია ეწოდება.





# გრავიტაციული პოტენციური ენერგია

$m$  მასის სხეულის ვარდნა სიმძიმის ძალის გამო

სიმძიმის ძალა:  $\mathbf{F} = \mathbf{m g}$

სიმძიმის ძალის მუშაობა:  $\mathbf{A} = \mathbf{F h}$

ვარდნისას მიღებული კინეტიკური ენერგია

$$\mathbf{E_k} = \mathbf{A} = \mathbf{m g h}$$

ე.ი. სხეულს ვარდნის დაწყებამდე გააჩნდა  
გრავიტაციული პოტენციური ენერგია:

$$\mathbf{U} = \mathbf{m g h}$$

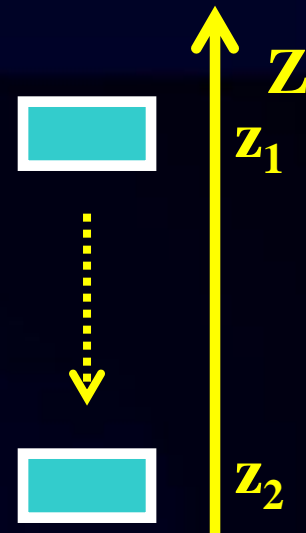
# გრავიტაციული პოტენციური ენერგია

სხეულის ვარდნა  $z_1$  სიმაღლიდან  $z_2$  სიმაღლეზე:

სიმძიმის ძალის მუშაობა:

$$A = mg (z_1 - z_2)$$

$$A = U_1 - U_2 = -(U_2 - U_1)$$



$$A = - \Delta U$$

სიმძიმის ძალის მუშაობა უდრის გრავიტაციული პოტენციალის ცვლილებას საპირისპირო ნიშნით

## მექანიკური ენერგია

სიმძიმის ძალის მუშაობა და კინეტიკური ენერგია:

$$A = \Delta E_k$$

სიმძიმის ძალის მუშაობა და პოტენციური ენერგია:

$$A = -\Delta U$$

$$\Delta E_k = -\Delta U$$

$$\Delta E_k + \Delta U = \Delta (E_k + U) = 0$$

მექანიკური ენერგიის შენახვის კანონი

$$E_k + U = \text{constant}$$

# ენერჯის შენახვის კანონი

ჩაკეტილი სისტემის სრული ენერჯია ინახება

სრული ენერჯია: ყველა ტიპის ენერჯიების ჯამი

მექანიკური სისტემა:

კინეტიკური ენერჯია;

პოტენციური ენერჯია;

პოტენციური ენერჯია: გრავიტაციული, დრეკადობა, დაჭიმულობა ...

## მაგალითი # 2

ბურთის ვარდნა  
H სიმაღლიდან:

პოტენციური ენერგია  
უმადლეს წერტილში:  
 $U = m g h$

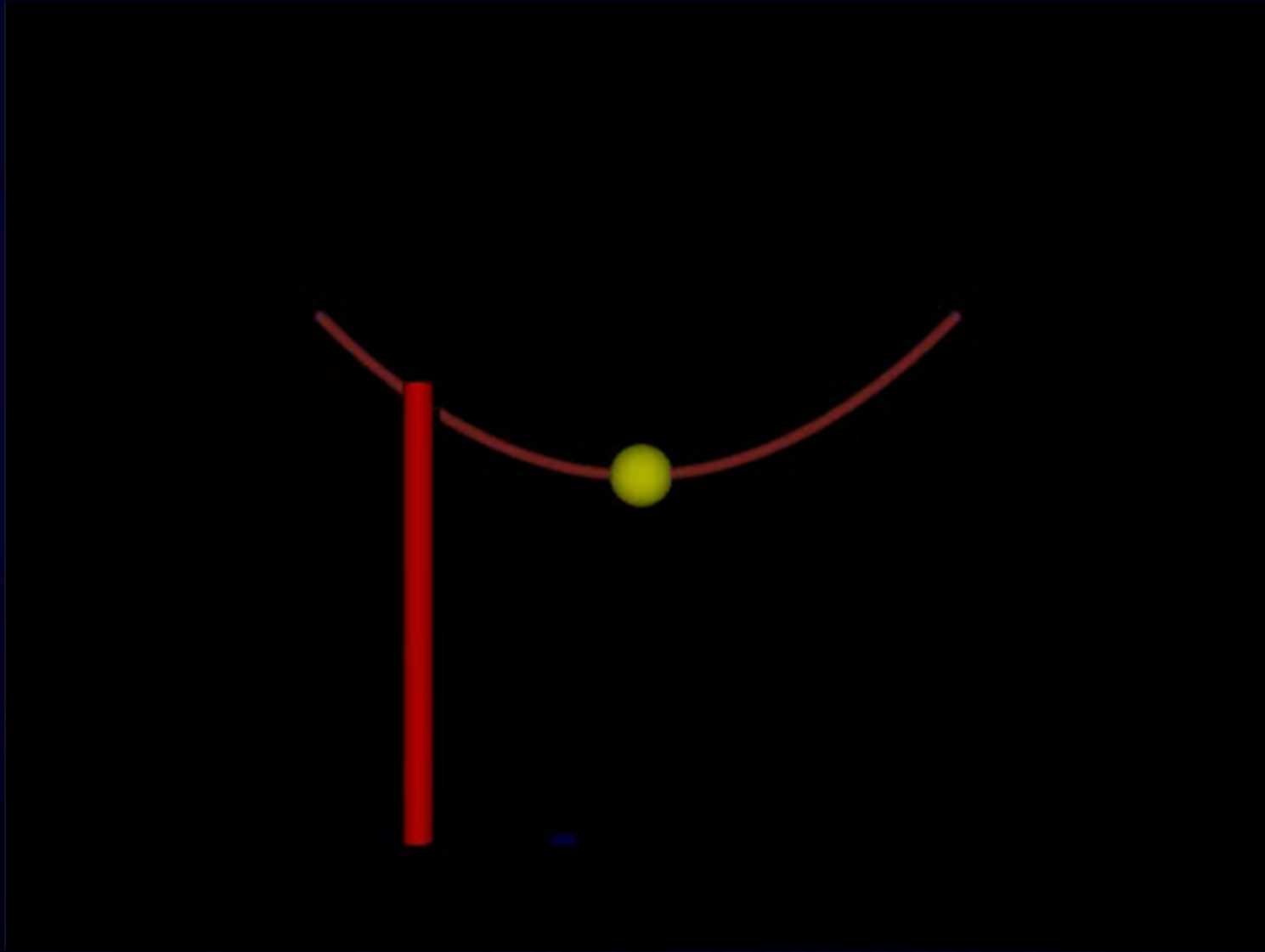


კინეტიკური ენერგია დაცემისას:

$$\Delta E_k + \Delta U = 0, \quad E_k = \Delta E_k = -\Delta U = -(0 - m g h) = mgh$$

# ბურთულა ჯამში

კინეტიკური და პოტენციური ენერგიები მოძრაობაში



## ბურთულების დრეკადი დაჯახება

ვიპოვოთ სიჩქარეები დრეკადი დაჯახების შემდეგ, თუკი ცნობილია ბურთულების მასები და სიჩქარეები დაჯახებამდე.

*ამოცანის სრულად ამოსახსნელად საკმარისია*

იმპულსის შენახვის კანონი:

$$\mathbf{m}_1 \mathbf{V}_1 + \mathbf{m}_2 \mathbf{V}_2 = \mathbf{constant}$$

(კინეტიკური) ენერგიის შენახვის კანონი:

$$m_1 V_1^2 / 2 + m_2 V_2^2 / 2 = \mathbf{constant}$$

## მაგალითი # 3

წრფივად მოძრავი  $m_1$  მასის ბურთულა ეჯახება უძრავ  $m_2$  მასის ბურთულას. გამოთვალეთ სიჩქარეები დაჯახების შემდეგ.

მოძრავი ბურთულას სიჩქარე დაჯახებამდე:  $V_0$   
სიჩქარეები დაჯახების შემდეგ:  $V_1$  და  $V_2$

იმპულსის შენახვა:

$$m_1 V_0 = m_1 V_1 + m_2 V_2$$

ენერჯიის შენახვა:

$$m_1 V_0^2 / 2 = m_1 V_1^2 / 2 + m_2 V_2^2 / 2$$



## მაგალითი # 3

იმპულსის მუდმივობის კანონიდან გამოვსახოთ  $V_1$

$$V_1 = V_0 - \frac{m_2}{m_1} V_2 = V_0 - \alpha V_2$$

გამოვიყენოთ აღნიშვნა:  $\alpha \equiv m_2/m_1$

გარდავქმნათ ენერგიის ფორმულა:

$$V_0^2 / 2 = V_1^2 / 2 + \frac{m_2}{m_1} V_2^2 / 2$$

$$V_0^2 = V_1^2 + \alpha V_2^2$$

ჩავსვათ  $V_1$  ენერგიის ფორმულაში:

$$V_0^2 = (V_0 - \alpha V_2)^2 + \alpha V_2^2$$

## მაგალითი # 3

გავამარტივოთ:

$$\cancel{V_0^2} = \cancel{V_0^2} - 2\alpha V_0 V_2 + \alpha^2 V_2^2 + \alpha V_2^2$$

შევკვეცოთ  $\alpha$  და  $V_2$ :

$$0 = -2V_0 + \alpha V_2 + V_2$$

შედგად:

$$V_2 = 2V_0 / (1 + \alpha)$$

ჩავსვათ  $\alpha$ :

$$V_2 = 2m_1 V_0 / (m_1 + m_2)$$

თუკი  $m_1 = m_2$  მაშინ:  $V_2 = V_0$

## დაჭიმულობის პოტენციალი

ზამბარის დაჭიმულობის ძალა პროპორციულია  
ზამბარის დაჭიმულობის

$$\mathbf{F} = \mathbf{k} \mathbf{x}$$

ზამბარის პოტენციალური ენერგია:

$$U = k x^2/2$$

ზამბარის რხევა:  $\mathbf{E}_k + U_k + U_g = \mathbf{constant}$

$U_k$  - ზამბარის დაჭიმულობის პოტენციალი

$U_g$  - ტვირთის გრავიტაციული პოტენციალი



## მოდრაობა რამოდენიმე პოტენციალში



# ენერგიის მუდმივობის კანონი

მუშაობა და კინეტიკური ენერგია

სიმძლავრე და ენერგია

პოტენციური ენერგია

ენერგიის შენახვის კანონი

An abstract graphic at the bottom of the slide, consisting of glowing blue, swirling, and interconnected lines that resemble a complex energy field or a network of particles. The lines are more concentrated in some areas, creating a sense of dynamic movement and energy.

[www.tevza.org/home/course/phys2010](http://www.tevza.org/home/course/phys2010)

