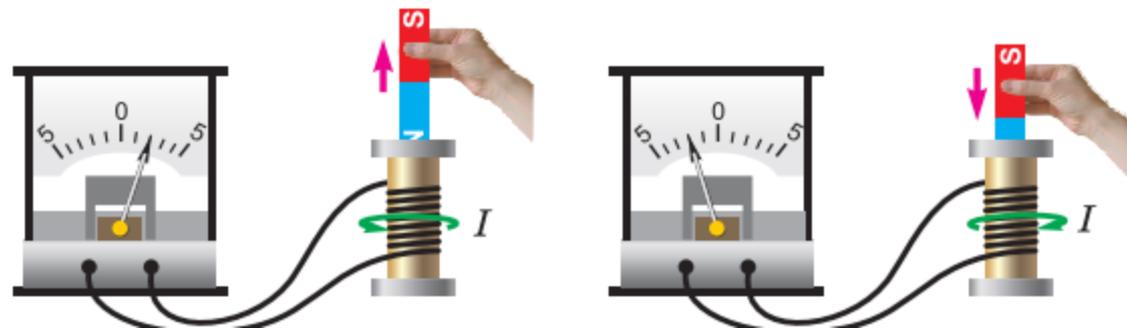


**«Закон электромагнитной  
индукции» 11 класс  
УМК по физике издательства  
«БИНОМ.  
Лаборатория знаний»**



# Закон электромагнитной индукции

Актуализация знаний

- ✓ Сила Лоренца (определение направления, формула).
- ✓ Определение направление индукционного тока (правило Ленца).
- ✓ Условия существования тока.
- ✓ Понятие ЭДС.
- ✓ Закон Ома для полной цепи.

# Закон электромагнитной индукции

Целеполагание

Источника тока  
нет!



Почему  
возникает  
ИНДУКЦИОННЫЙ  
ТОК?

# Закон электромагнитной индукции

Целеполагание

Источника тока  
нет!



Почему  
возникает  
ИНДУКЦИОННЫЙ  
ТОК?

*В источнике тока действуют сторонние силы, имеющие неэлектростатическую природу и характеризующиеся электродвижущей силой (ЭДС).*

# ✓ Постановка цели урока на основе проблемного вопроса

Целеполагание

Источника тока  
нет!



Почему  
возникает  
индукционный  
ток?

## Постановка цели и задач урока

**Цель: исследовать явление ЭМИ.**

**Задачи:**

- ✓ Установить причины возникновения индукционного тока;
- ✓ Определить закон по которому можно определять силу индукционного тока (закон ЭМИ).

# Причины возникновения индукционного тока (разыскиваем сторонние силы!)

## 1. Проводник движется

### ЭДС индукции в движущемся проводнике

- ° 1. Металлический стержень перемещают в магнитном поле по П-образным металлическим направляющим (рис. 6.1).

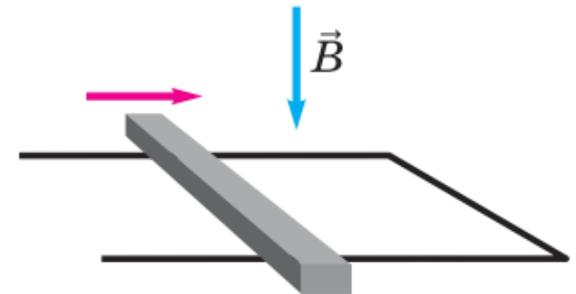


Рис. 6.1

# Причины возникновения индукционного тока

## 1. Проводник движется



### ЭДС индукции в движущемся проводнике

- ° 1. Металлический стержень перемещают в магнитном поле по П-образным металлическим направляющим (рис. 6.1).
  - а) Как направлена сила Лоренца, действующая на свободные электроны в стержне?

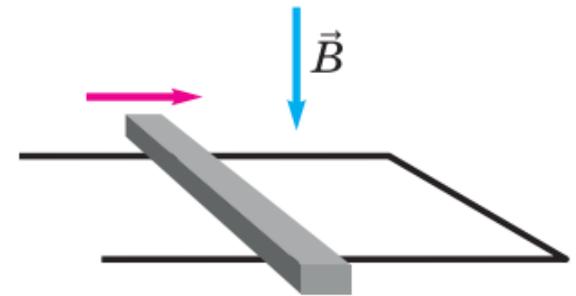


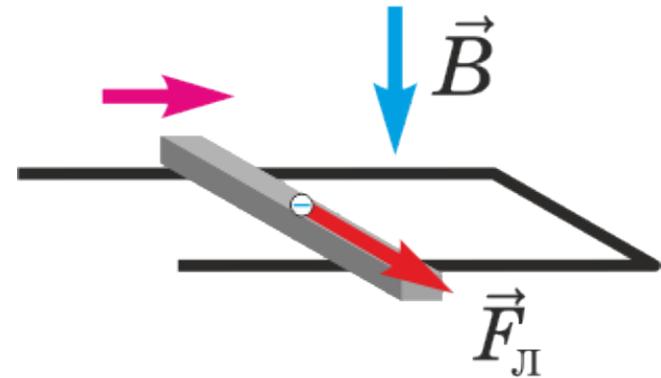
Рис. 6.1

# Причины возникновения индукционного тока

## 1. Проводник движется

### ЭДС индукции в движущемся проводнике

- ° 1. Металлический стержень перемещают в магнитном поле по П-образным металлическим направляющим (рис. 6.1).  
а) Как направлена сила Лоренца, действующая на свободные электроны в стержне?



---

Совет: Воспользуйтесь правилом левой руки и учтите, что свободные электроны движутся вместе со стержнем и имеют отрицательный заряд.

# Причины возникновения индукционного тока

## 1. Проводник движется



### ЭДС индукции в движущемся проводнике

- ° 1. Металлический стержень перемещают в магнитном поле по П-образным металлическим направляющим (рис. 6.1).
  - а) Как направлена сила Лоренца, действующая на свободные электроны в стержне?
  - б) Как направлен индукционный ток в стержне? Согласуется ли ваш ответ на этот вопрос с правилом Ленца?

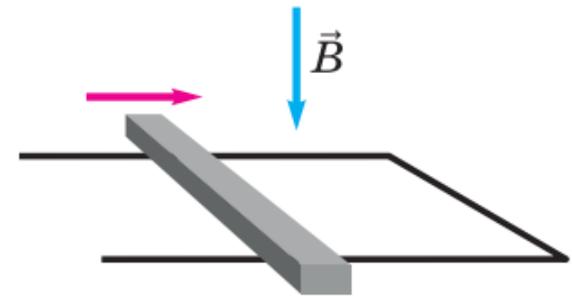


Рис. 6.1

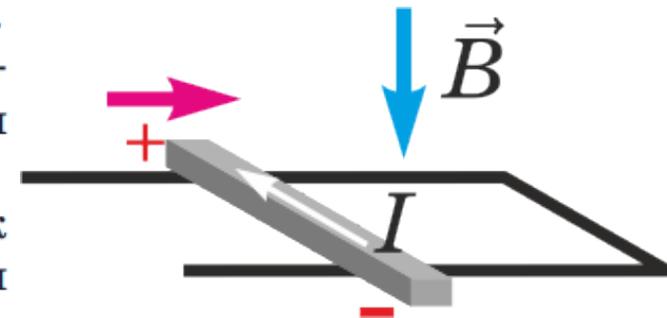
# Причины возникновения индукционного тока

## 1. Проводник движется



### ЭДС индукции в движущемся проводнике

- ° 1. Металлический стержень перемещают в магнитном поле по П-образным металлическим направляющим (рис. 6.1).
- а) Как направлена сила Лоренца, действующая на свободные электроны в стержне?
  - б) Как направлен индукционный ток в стержне? Согласуется ли ваш ответ на этот вопрос с правилом Ленца?



---

Совет: учтите, что за направление тока выбрано направление движения *положительно* заряженных частиц

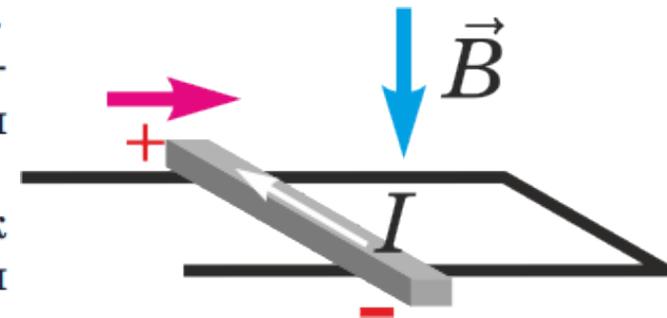
# Причины возникновения индукционного тока

## 1. Проводник движется



### ЭДС индукции в движущемся проводнике

- ° 1. Металлический стержень перемещают в магнитном поле по П-образным металлическим направляющим (рис. 6.1).
- а) Как направлена сила Лоренца, действующая на свободные электроны в стержне?
- б) Как направлен индукционный ток в стержне? Согласуется ли ваш ответ на этот вопрос с правилом Ленца?



Если индукционный ток обусловлен *движением проводника* в магнитном поле, то **причиной возникновения ЭДС индукции являются силы Лоренца,** действующие на свободные заряды в проводнике.

# Причины возникновения индукционного тока

## 2. Проводник неподвижен



**ЭДС индукции в покоемся проводнике, находящемся в переменном магнитном поле**

° 2. К замкнутому закреплённому металлическому кольцу приближают полосовой магнит (рис. 6.2).

а) Возникает ли в кольце индукционный ток? Обоснуйте свой ответ.

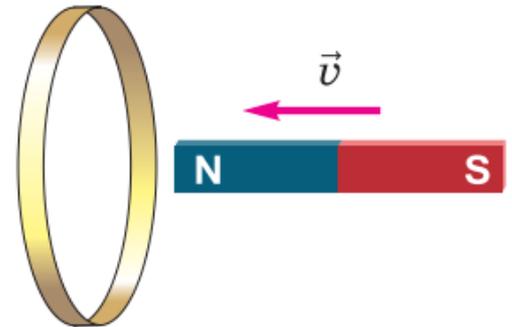


Рис. 6.2

# Причины возникновения индукционного тока

## 2. Проводник неподвижен



**ЭДС индукции в покоем проводнике, находящемся в переменном магнитном поле**

° 2. К замкнутому закреплённому металлическому кольцу приближают полосовой магнит (рис. 6.2).

- Возникает ли в кольце индукционный ток? Обоснуйте свой ответ.
- Может ли причиной возникновения индукционного тока быть сила Лоренца, действующая на свободные заряды в кольце? Обоснуйте свой ответ.

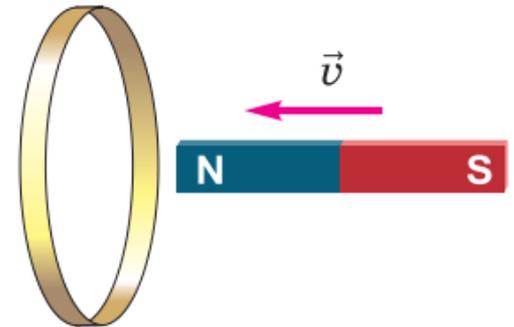


Рис. 6.2

# Причины возникновения индукционного тока

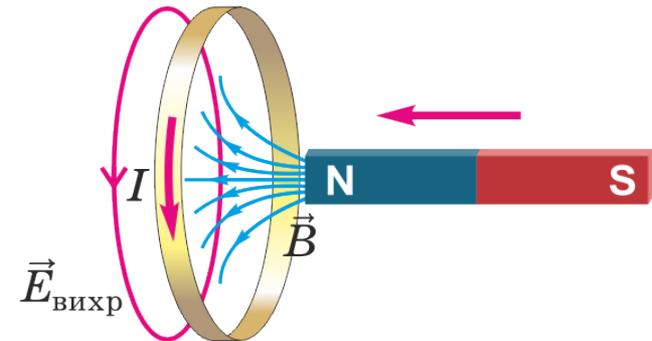
## 2. Проводник неподвижен



**ЭДС индукции в покоем проводнике, находящемся в переменном магнитном поле**

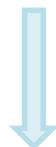
° 2. К замкнутому закреплённому металлическому кольцу приближают полосовой магнит (рис. 6.2).

- Возникает ли в кольце индукционный ток? Обоснуйте свой ответ.
- Может ли причиной возникновения индукционного тока быть сила Лоренца, действующая на свободные заряды в кольце? Обоснуйте свой ответ.

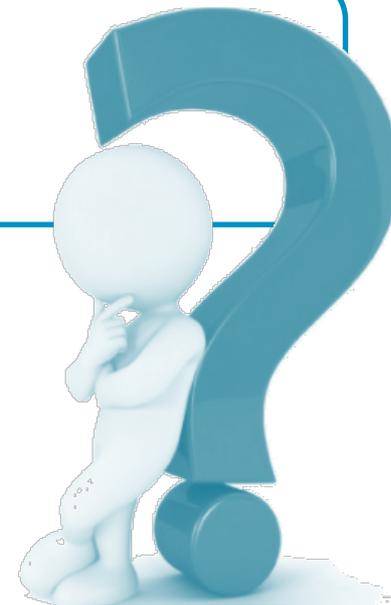


Дж. Максвелл предположил, что *переменное во времени магнитное поле порождает вихревое электрическое поле.*

**Существует ЭДС индукции!**



**От чего она зависит?**



# Закон электромагнитной индукции

Качественное описание явления



Внося постоянный магнит в катушку и вынимая его, определите:

- ✓ когда возникает индукционный ток в катушке;
- ✓ как зависит сила индукционного тока и ЭДС индукции от скорости магнита;
- ✓ Запишите выводы.

- ✓ При любом изменении магнитного поля в замкнутом контуре возникает индукционный ток.
- ✓ ЭДС индукции зависит от: ...

Ф  
Р  
О  
Н  
Т  
А  
Л  
Ь  
Н  
О

# Закон электромагнитной индукции

Обобщив все случаи возникновения индукционного тока, Фарадей установил закономерность, которую формулируют как

*закон электромагнитной индукции*: ЭДС индукции в замкнутом контуре выражается формулой

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

где  $\Delta\Phi$  — изменение магнитного потока через контур за промежуток времени  $\Delta t$ .

# Закон электромагнитной индукции

Обобщив все случаи возникновения индукционного тока, Фарадей установил закономерность, которую формулируют как

*закон электромагнитной индукции*: ЭДС индукции в замкнутом контуре выражается формулой

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

где  $\Delta\Phi$  — изменение магнитного потока через контур за промежуток времени  $\Delta t$ .

Знак минус в последней формуле обусловлен правилом Ленца. При решении задач удобнее использовать формулу, связывающую модули ЭДС индукции и скорости изменения магнитного потока:

$$|\mathcal{E}_i| = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|,$$

а направление индукционного тока находить по правилу Ленца.

14. По графику зависимости от времени магнитного потока через замкнутый контур сопротивлением 2 Ом (рис. 6.9) определите:

- а) в каком промежутке времени модуль ЭДС индукции максимален;
- б) в каком промежутке времени индукционный ток в контуре отсутствует;
- в) чему равен модуль ЭДС индукции при  $t = 4$  с;
- г) чему равна сила тока в контуре при  $t = 4$  с.

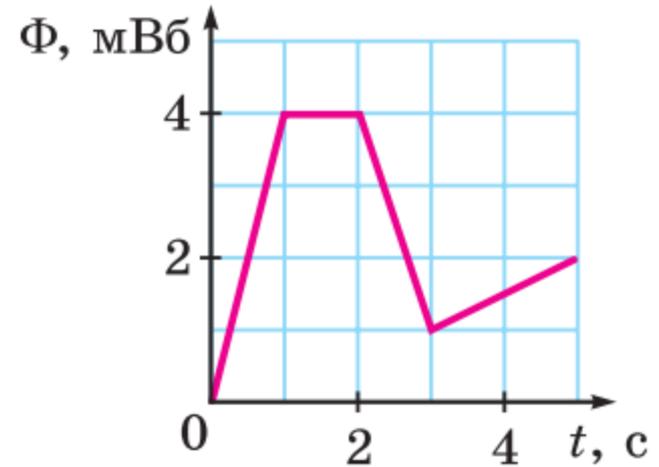


Рис. 6.9

21. На рисунке 6.10, *a* изображён полосовой магнит, который начинает свободно падать из состояния покоя и пролетает сквозь закреплённое замкнутое проволочное кольцо. На рисунке 6.10, *б* приведён график зависимости силы индукционного тока в кольце от времени (силу переменного тока обозначают маленькой буквой  $i$ , разным знакам силы тока соответствуют противоположные направления тока). Объясните, почему индукционный ток в кольце изменяет направление.

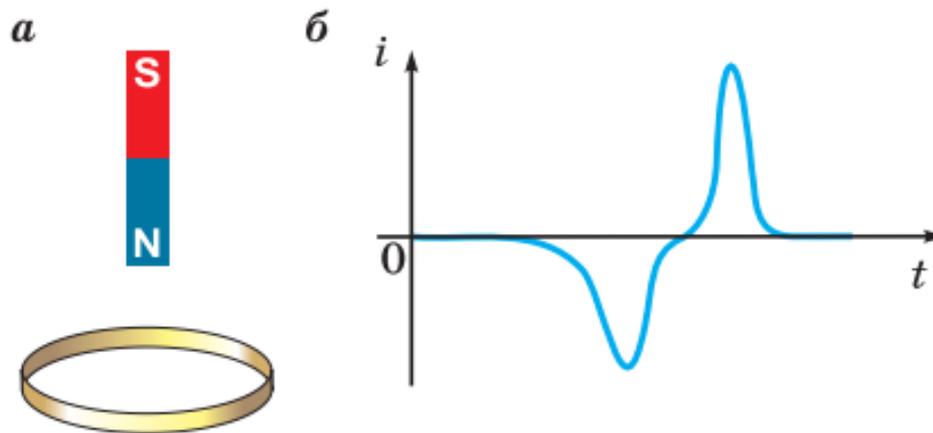
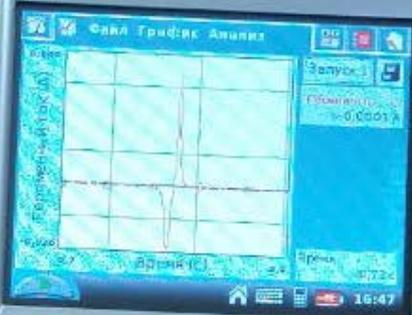


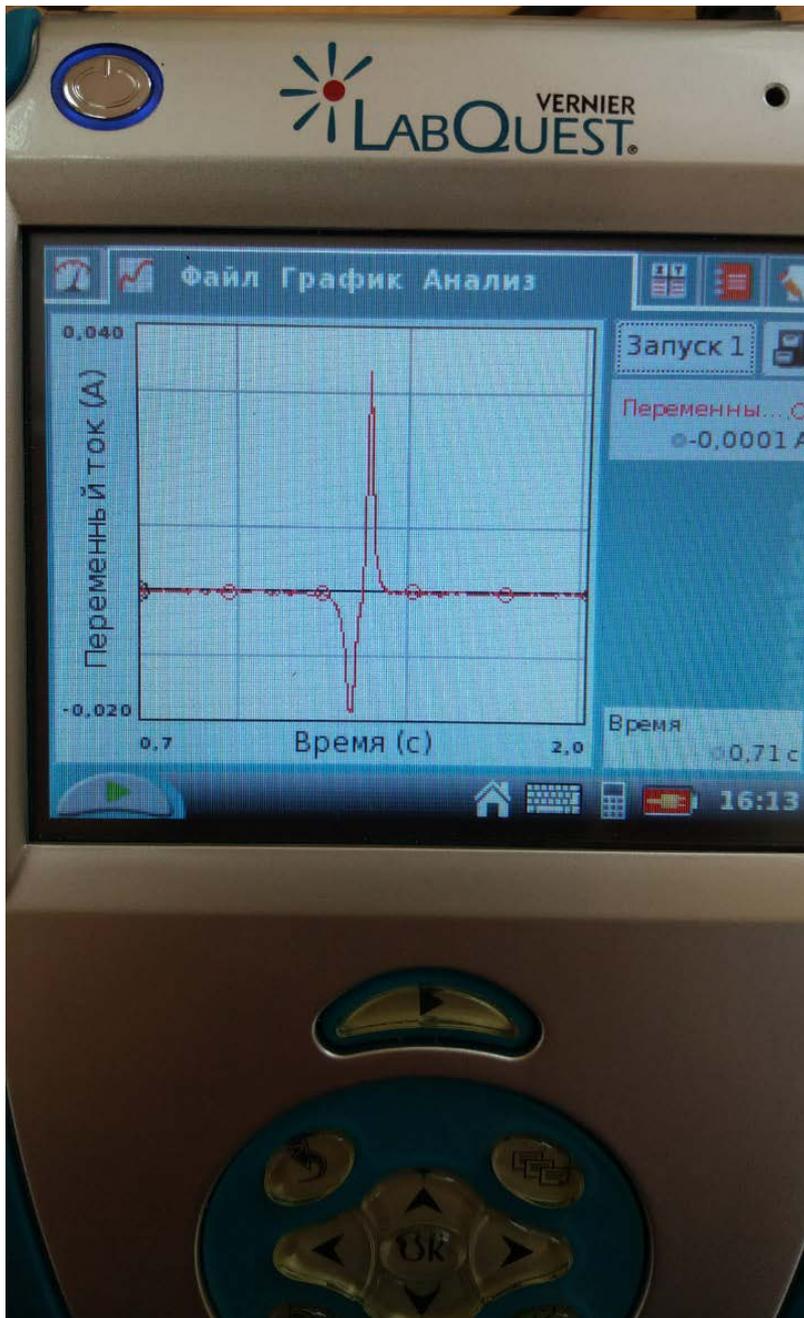
Рис. 6.10



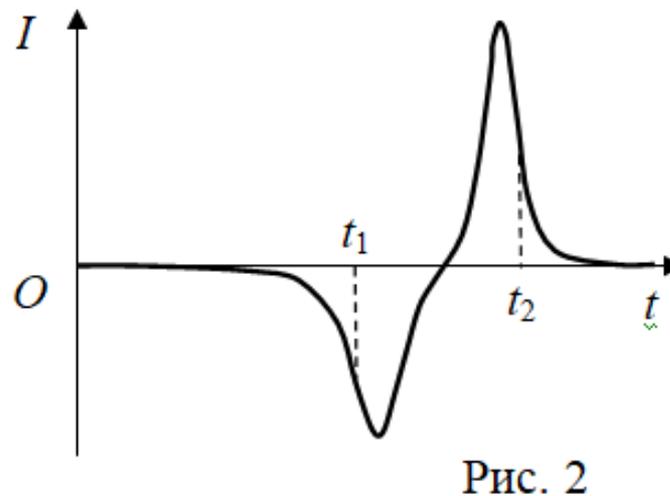
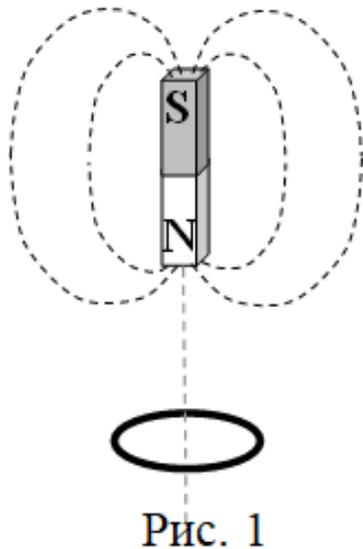
VERNIER  
LABQUEST



Vernier



Намагниченный стальной стержень начинает свободное падение с нулевой начальной скоростью из положения, изображённого на рис. 1. Пролетая сквозь закреплённое проволочное кольцо, стержень создаёт в нём электрический ток, сила которого изменяется со временем так, как показано на рис. 2.

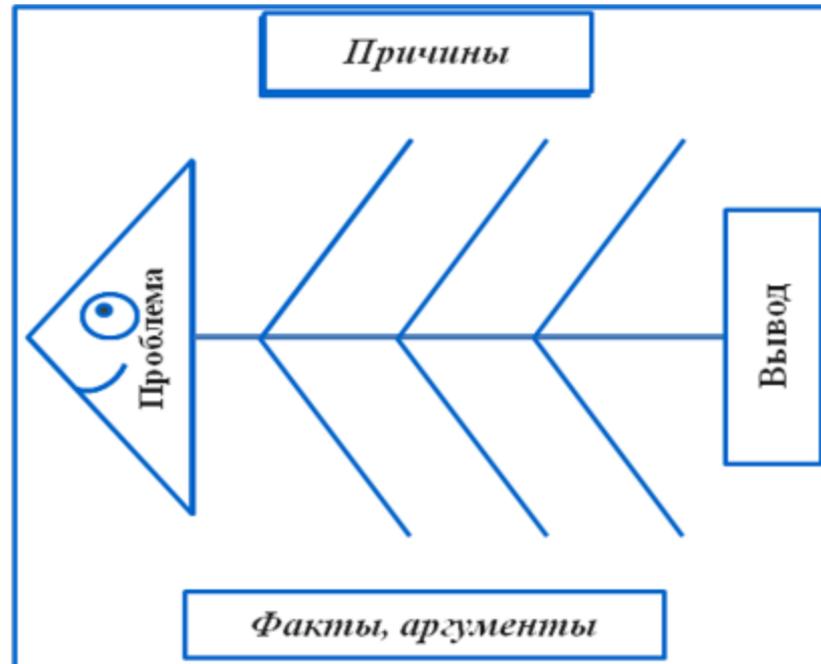


Почему в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  ток в кольце имеет различные направления? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения. Влиянием тока в кольце на движение магнита пренебречь.

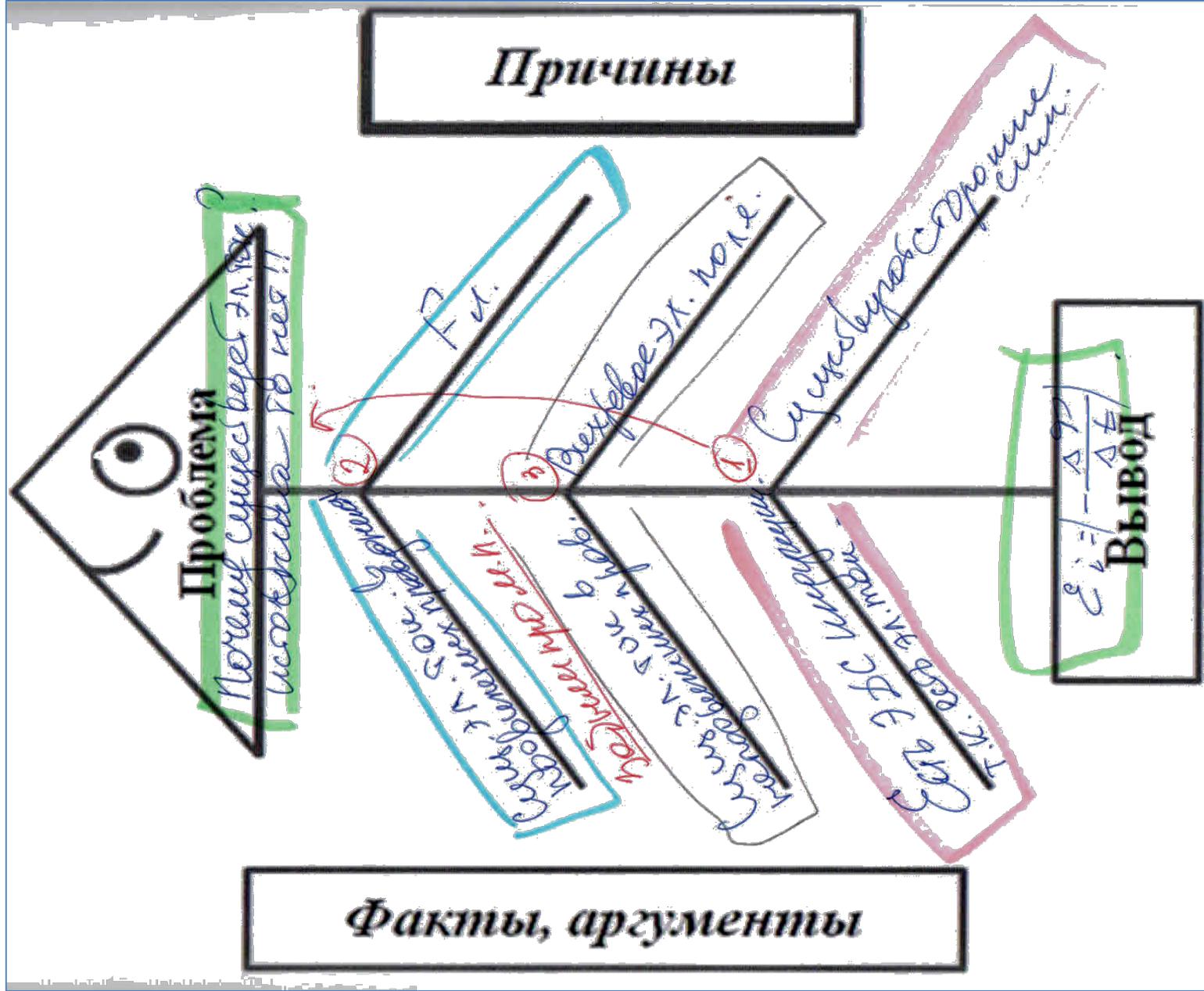
# Рефлексия содержания учебного материала

- Фишбоун (рыбный скелет)

Помогает привести все изученные понятия в стройную систему, предусматривающую раскрытие и усвоение связей и отношений между ее элементами

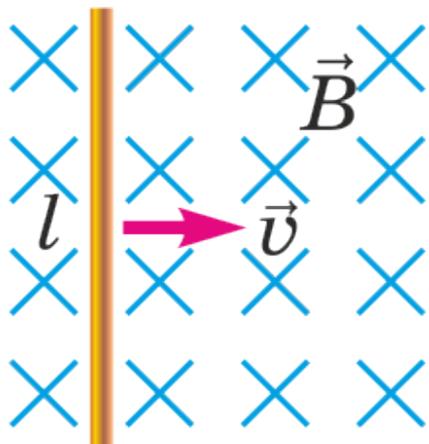


# Рефлексия содержания учебного материала



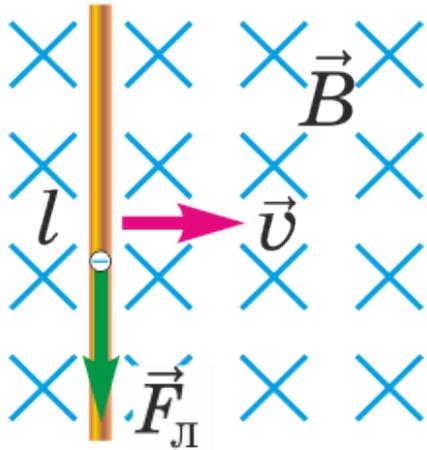
# Исследование ключевой ситуации «ЭДС индукции в проводнике, движущемся с постоянной скоростью»

**Напряжение на концах проводника, движущегося в магнитном поле**



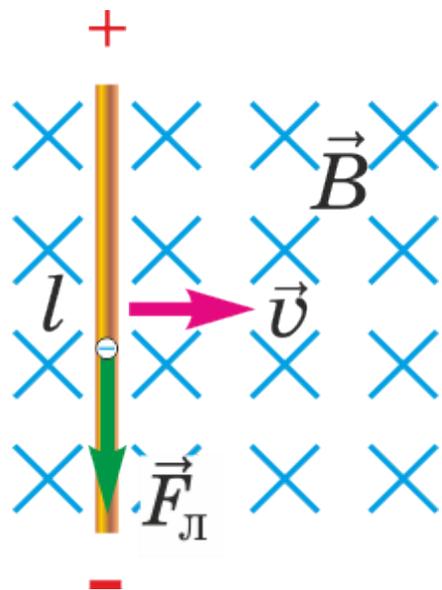
*Покажем, что на концах проводника, движущегося в магнитном поле, возникает разность потенциалов (напряжение).*

# Исследование ключевой ситуации «ЭДС индукции в проводнике, движущемся с постоянной скоростью»



Покажем, что на концах проводника, движущегося в магнитном поле, возникает разность потенциалов (напряжение).

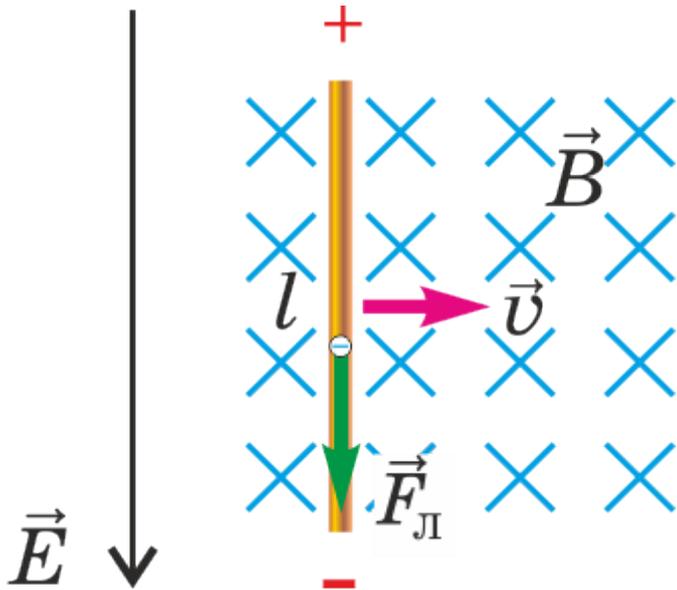
# Исследование ключевой ситуации «ЭДС индукции в проводнике, движущемся с постоянной скоростью»



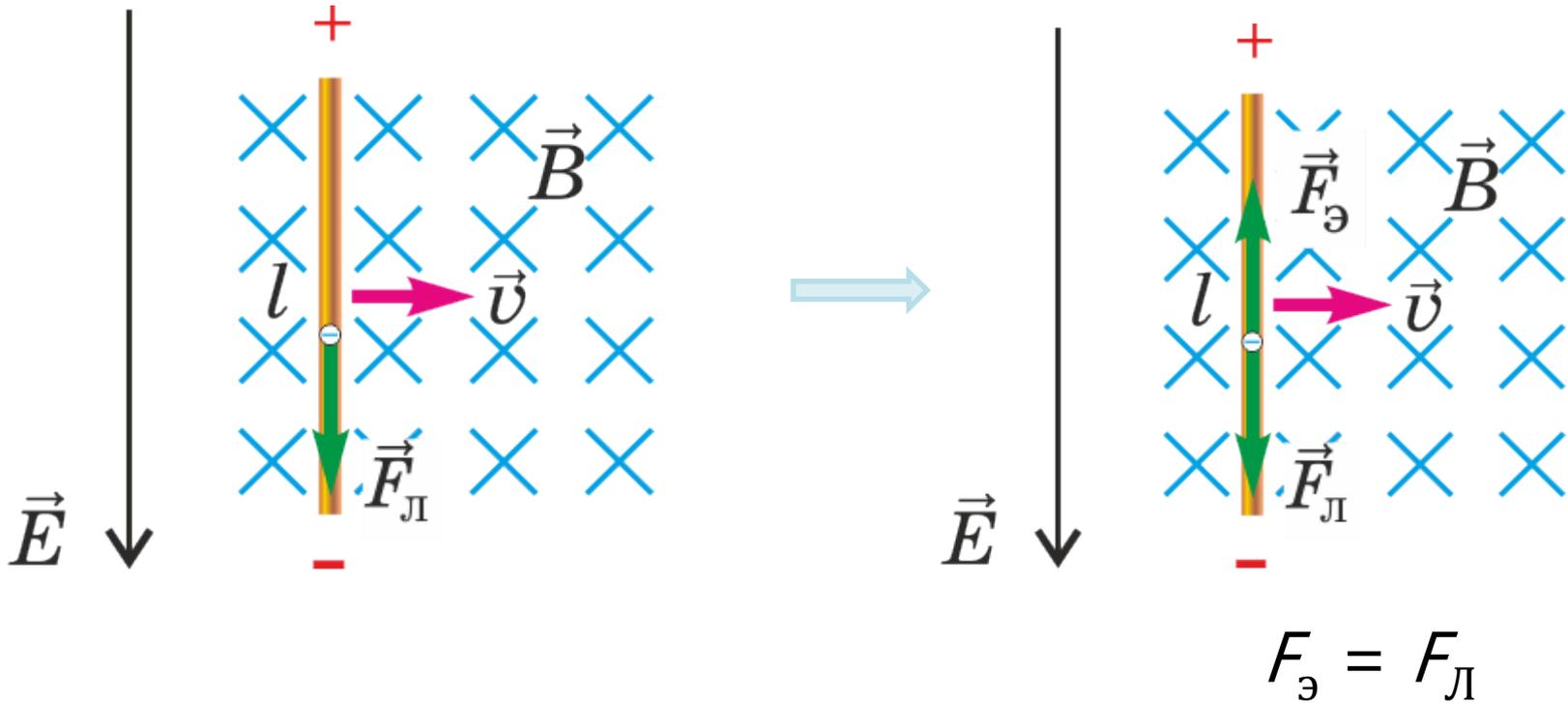
Покажем, что на концах проводника, движущегося в магнитном поле, возникает разность потенциалов (напряжение).

На свободные заряды (свободные электроны) в стержне действует *сила Лоренца*, под действием которой произойдёт *перераспределение зарядов*: на одном конце стержня возникнет положительный электрический заряд, а на противоположном — такой же по модулю, но отрицательный. В результате в стержне возникнет *электрическое поле*. Обозначим  $E$  модуль напряжённости этого поля.

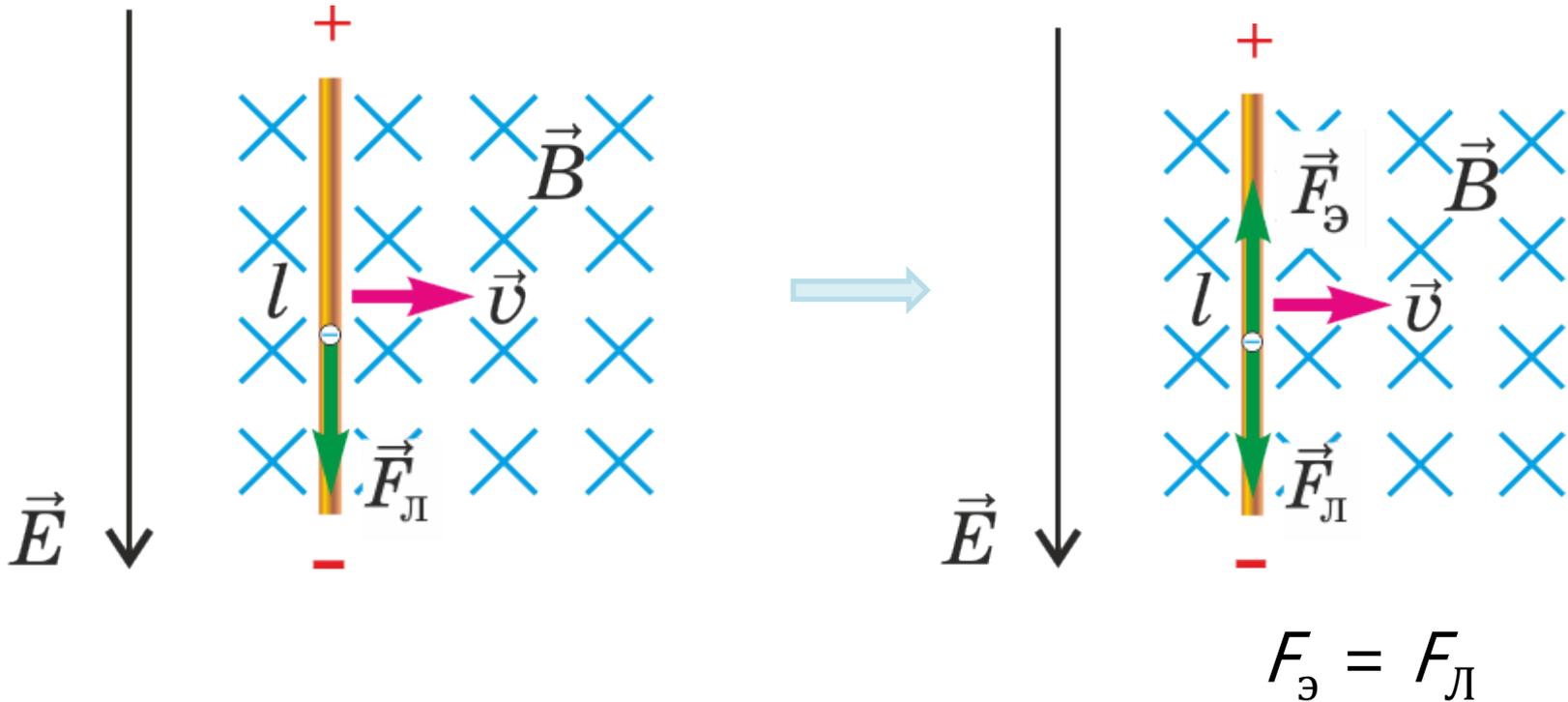
# Исследование ключевой ситуации «ЭДС индукции в проводнике, движущемся с постоянной скоростью»



# Исследование ключевой ситуации «ЭДС индукции в проводнике, движущемся с постоянной скоростью»



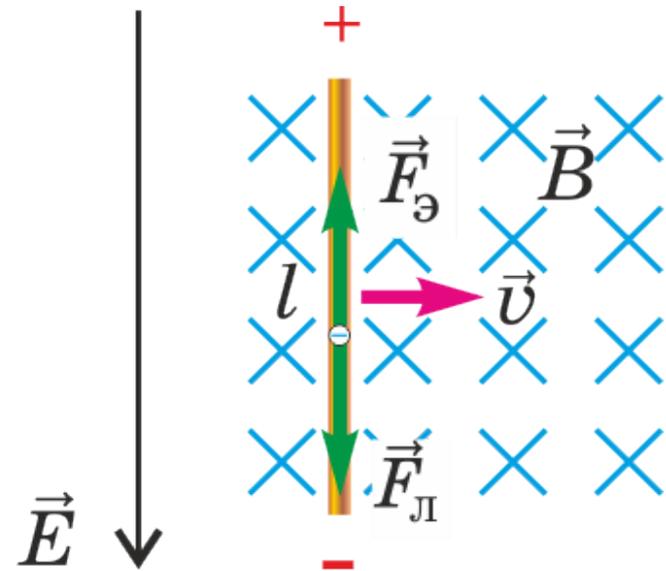
# Исследование ключевой ситуации «ЭДС индукции в проводнике, движущемся с постоянной скоростью»



$$\left. \begin{aligned} F_{\text{Э}} &= qE \\ F_{\text{Л}} &= Bqv \end{aligned} \right\} E = Bv$$

## Напряжение на концах проводника, движущегося в магнитном поле

$$\left. \begin{aligned} E &= Bv \\ U &= El \end{aligned} \right\} \boxed{U = Bvl}$$

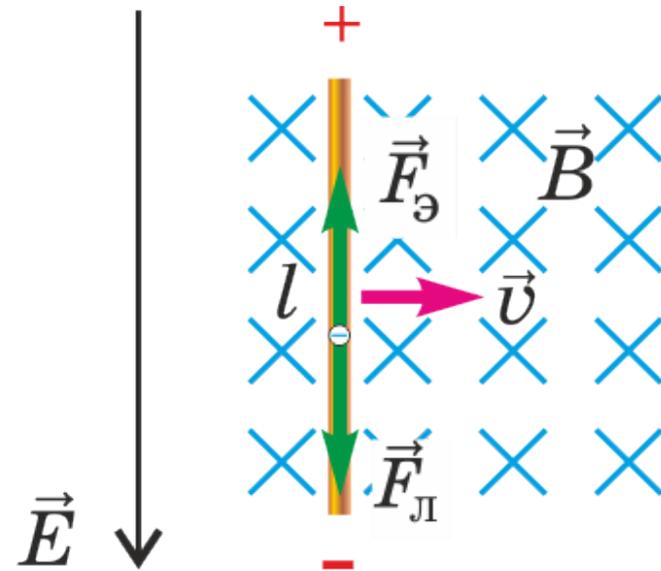


Если скорость стержня направлена под углом  $\alpha$  к вектору магнитной индукции, то модуль силы Лоренца выражается формулой  $F_L = Bqv \sin \alpha$ , поэтому в общем случае напряжение на концах стержня выражается формулой

$$U = Bvl \sin \alpha.$$

## Напряжение на концах проводника, движущегося в магнитном поле

$$\left. \begin{aligned} E &= Bv \\ U &= El \end{aligned} \right\} \boxed{U = Bvl}$$



Если скорость стержня направлена под углом  $\alpha$  к вектору магнитной индукции, то модуль силы Лоренца выражается формулой  $F_L = Bqv \sin \alpha$ , поэтому в общем случае напряжение на концах стержня выражается формулой

$$U = Bvl \sin \alpha.$$

Проводник, движущийся в магнитном поле,  
можно рассматривать как источник тока.

# Исследование ключевой ситуации «ЭДС индукции в проводнике, движущемся с постоянной скоростью»

ЭДС источника тока  
равна напряжению на  
клеммах разомкнутого  
источника

$$\Rightarrow \mathcal{E}_i = U$$

ЭДС индукции в проводнике длиной  $l$ , движущемся в магнитном поле со скоростью  $\vec{v}$ , выражается формулой

$$\mathcal{E}_i = Bv l \sin \alpha,$$

где  $\alpha$  — угол между скоростью проводника и вектором магнитной индукции  $\vec{B}$ .

# Исследование ключевой ситуации «ЭДС индукции в проводнике, движущемся с постоянной скоростью»

8. Металлический стержень скользит с постоянной скоростью  $\vec{v}$  по металлическим направляющим (рис. 6.4). С помощью закона электромагнитной индукции докажите, что ЭДС индукции в контуре, образованном стержнем и направляющими, выражается формулой

$$\mathcal{E}_i = Bvl.$$

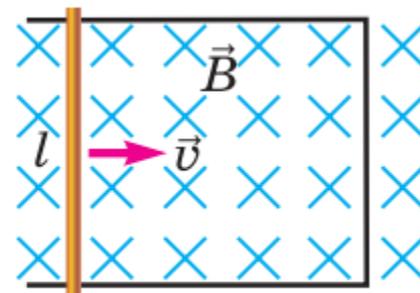


Рис. 6.4

# Исследование ключевой ситуации «ЭДС индукции в проводнике, движущемся с постоянной скоростью»

8. Металлический стержень скользит с постоянной скоростью  $\vec{v}$  по металлическим направляющим (рис. 6.4). С помощью закона электромагнитной индукции докажите, что ЭДС индукции в контуре, образованном стержнем и направляющими, выражается формулой

$$\mathcal{E}_i = Bvl.$$

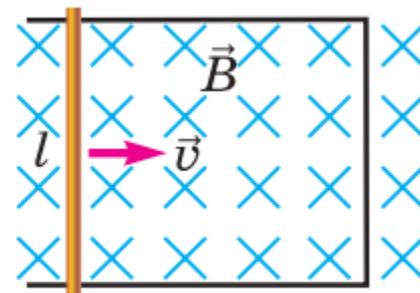


Рис. 6.4

$$\mathcal{E}_i = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{Blv\Delta t}{\Delta t} = Blv$$

**БИНОМ. Лаборатория знаний**  
**<http://lbz.ru/>**



**Ждём Вас на наших вебинарах!**