



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Oddziaływania ładunków w STW

Fizyka I (Mechanika)

Wykład XIII:

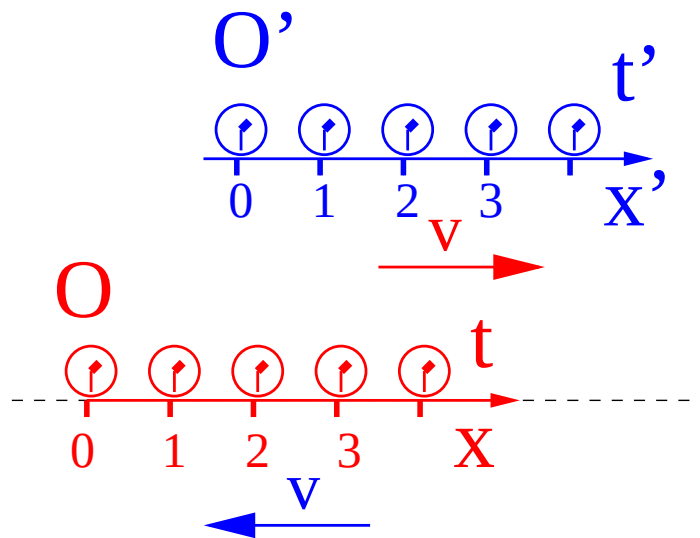
- postulaty Einsteina i transformacja Lorentza (przypomnienie)
- ruch cząstki w polu elektrycznym
- oddziaływanie przewodników z prądem
- natura magnetyzmu
- ruch cząstki w polu magnetycznym
- informacje o egzaminie

Postulaty Einsteina

opublikowane w pracy “O elektrodynamice ciał w ruchu” (1905):

- prawa fizyki są identyczne w układach będących względem siebie w ruchu jednostajnym prostoliniowym (zasada względności)
- prędkość światła w próżni, c , jest jednakowa w każdym kierunku we wszystkich inercjalnych układach odniesienia... (uniwersalność prędkości światła)

prowadzą do wzoru na transformacje Lorentza



$$\begin{cases} ct = c\gamma t' + \gamma\beta x' \\ x = c\gamma\beta t' + \gamma x' \\ y = y' \\ z = z' \end{cases}$$

gdzie: $\beta = \frac{V}{c}$ $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$

Transformacja Lorentza

Transformacja Lorentza dla czterowektora **położenia** w postaci macierzowej:

$$\begin{pmatrix} ct \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma & \gamma\beta & 0 & 0 \\ \gamma\beta & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} ct' \\ x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}$$

Pełna symetria między ct (współrzędna czasowa) i x (współrzędna przestrzenna)

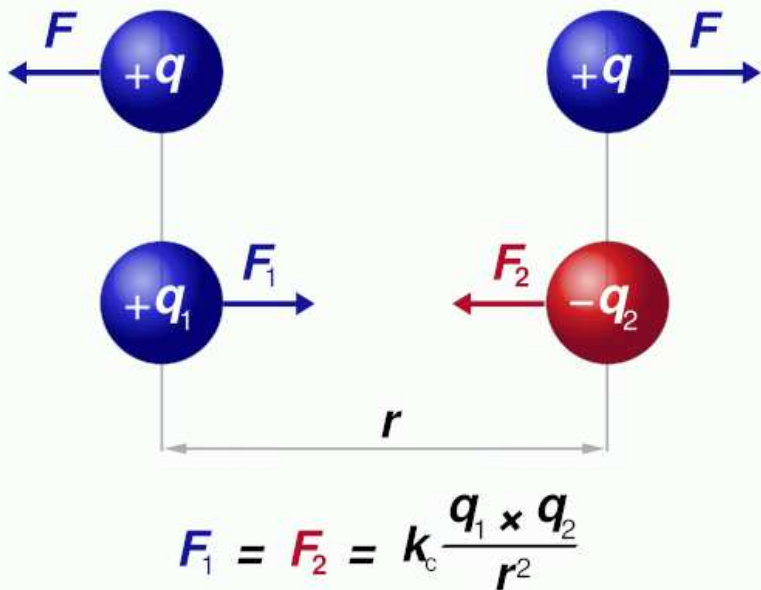
Transformacja Lorentza dla czterowektora **energii-pędu**:

$$\begin{pmatrix} E \\ cp_x \\ cp_y \\ cp_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma & \gamma\beta & 0 & 0 \\ \gamma\beta & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} E' \\ cp'_x \\ cp'_y \\ cp'_z \end{pmatrix}$$

Wprowadzenie

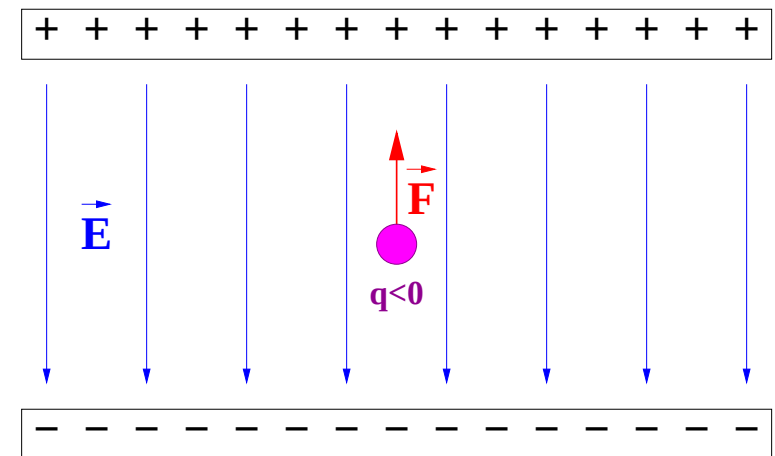
Pole elektryczne

Prawo Coulomba
siła oddziaływania między ładunkami:



gdzie: $k_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$

Gdy opisujemy ruch cząstki pod wpływem siły Coulomba wygodnie jest wprowadzić pojęcie "pola elektrycznego" $\vec{E}$:



Siła działająca na ładunek q :

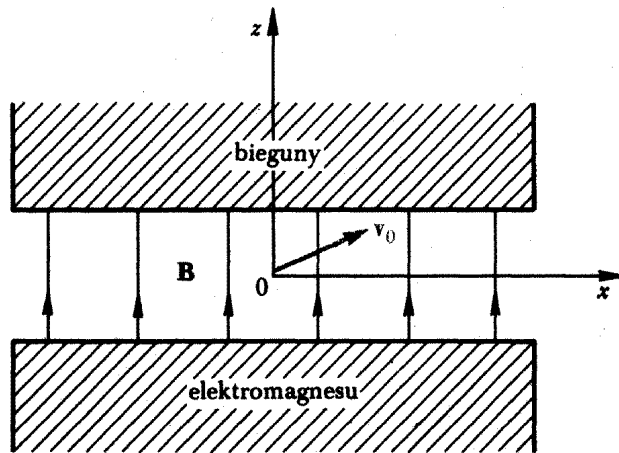
$$\vec{F} = \vec{E} \cdot q$$

Źródłem pola są ładunki elektryczne

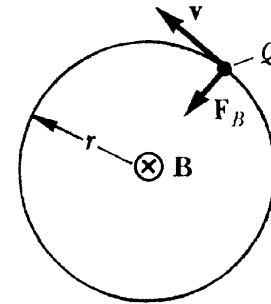
Wprowadzenie

Pole magnetyczne

Wytwarzane między biegunami magnesów lub elektromagnesów



Cząstka naładowana poruszająca się w płaszczyźnie prostopadłej do pola:



Na cząstkę działa siła Lorentza:

$$\vec{F}_B = Q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

Siła działa prostopadle do kierunku ruchu - nie zmienia prędkości (pędu, energii) cząstki

Co jest źródłem pola magnetycznego?

Nie istnieją ładunki magnetyczne

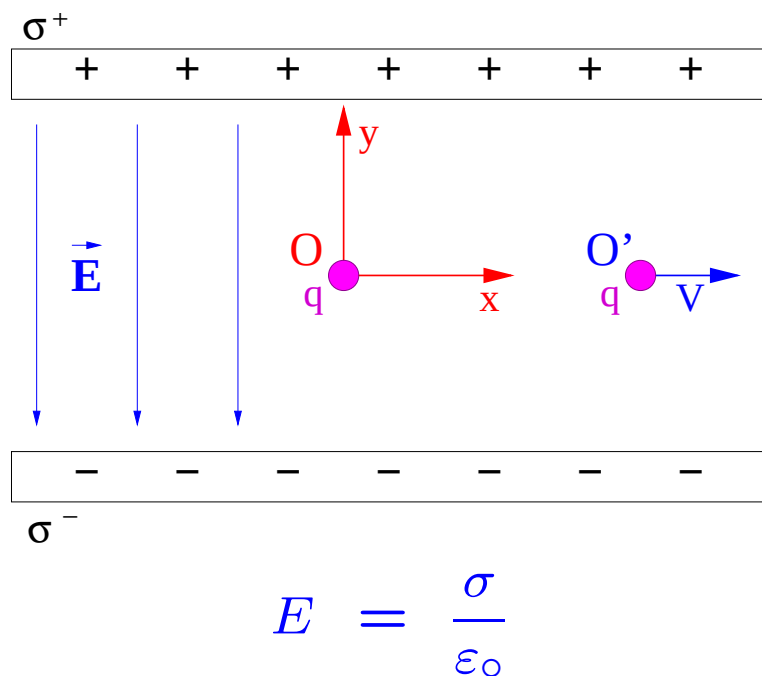
Siła Lorentza związana jest z **ruchem ładunków**.

Ale ruch jest względny!...

Ruch cząstki w polu elektrycznym

Pole elektryczne

Rozważmy pole elektryczne między okładkami kondensatora:



gdzie σ - gęstość powierzchniowa ładunku

Kondensator jest obojętny: $\sigma = \sigma^+ = \sigma^-$

Rozważmy dwa układy odniesienia: układ O nieruchomy względem kondensatora i układ O' , który porusza się z prędkością V równolegle do powierzchni okładek.

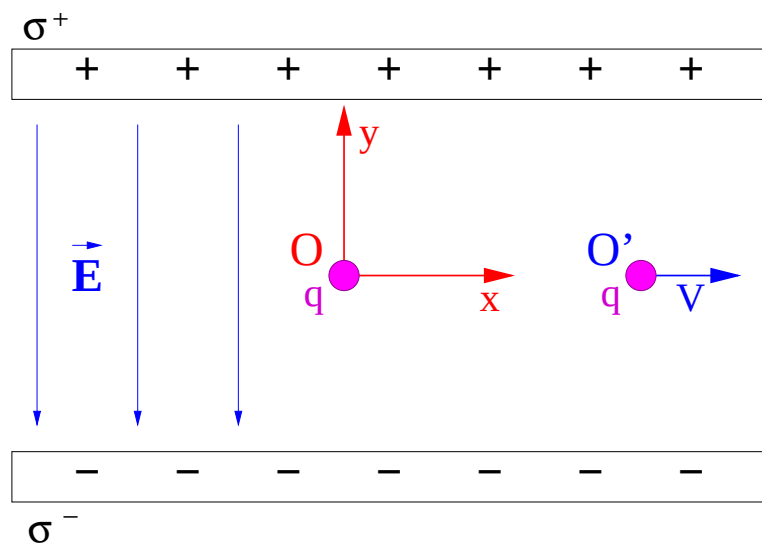
Niech w chwili $t = t' = 0$ w początkach obu układów zostanie umieszczona cząstka o ładunku q i masie m .

Na cząstki działa siła

$$\vec{F}_c = q \cdot \vec{E}$$

Ruch cząstki w polu elektrycznym

Pole elektryczne



W chwili $t = 0$ cząstka O spoczywa w kondensatorze, cząstka O' porusza się z prędkością V równoległe do powierzchni okładek.

Dla uproszczenia przyjmijmy, że prędkości ruchu w kierunku y : $v_y \ll c$.

Ruch pierwszego ładunku w O :

$$x_1 = 0$$

$$y_1 = \frac{1}{2}a_y t^2 = -\frac{qE}{2m} t^2$$

Ruch drugiego ładunku:

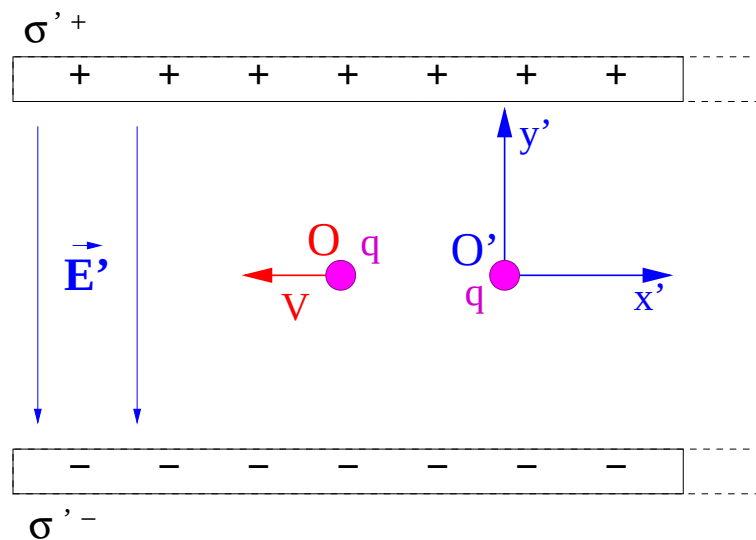
$$x_2 = V \cdot t$$

$$y_2 = \frac{1}{2}a_y t^2 = -\frac{qE}{2m\gamma} t^2$$

przyspieszenie a_y maleje o czynnik γ , co wynika z wyrażenia na pęd: $p_y = m\gamma v_y$

Ruch cząstki w polu elektrycznym

Pole elektryczne



W układzie O' sytuacja się odwraca: w chwili $t' = 0$ cząstka O' spoczywa, cząstka O porusza się z prędkością V .

Jak teraz wygląda ruch cząstek?

Transformujemy opis ruchu z O do O' :

Ruch drugiego ładunku:

$$x'_2 = 0$$

$$y'_2 = y_2 = -\frac{qE}{2m\gamma} t^2 = -\frac{qE\gamma}{2m} t'^2$$

gdyż $t = \gamma t'$ (dylatacja czasu)

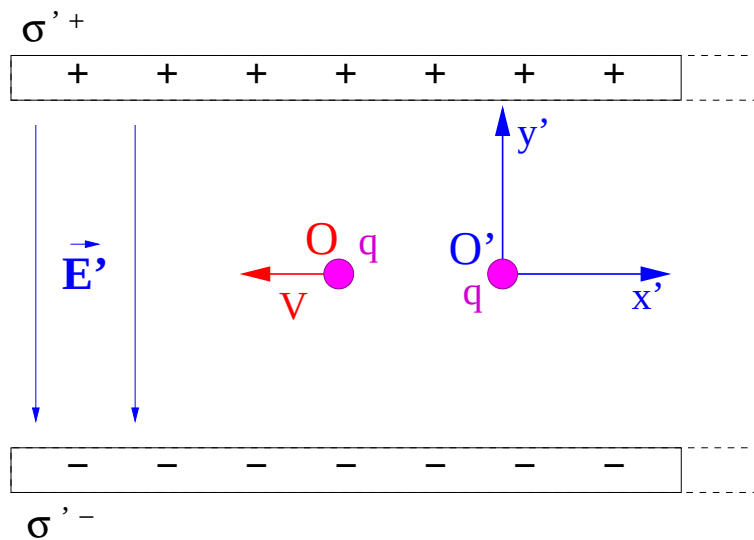
Ruch ładunku odpowiada natężeniu pola

$$E' = \gamma E$$

Zgadza się !!! W układzie O' długość okładek ulega skróceniu Lorentza, gęstość ładunku rośnie: $\sigma' = \gamma \sigma$

Ruch cząstki w polu elektrycznym

Pole elektryczne



W układzie O' sytuacja się odwraca: w chwili $t' = 0$ cząstka O' spoczywa, cząstka O porusza się z prędkością V .

Jak teraz wygląda ruch cząstek?

Ruch pierwszego ładunku:

$$x'_1 = -V \cdot t'$$

$$y'_1 = y_1 = -\frac{qE}{2m} t^2 = -\frac{qE'}{2m\gamma^3} t'^2$$

gdyż $t' = \gamma t$ (w drugą stronę!), a $E' = \gamma E$

Porównując z wynikiem uzyskanym dla drugiego ciała w O :

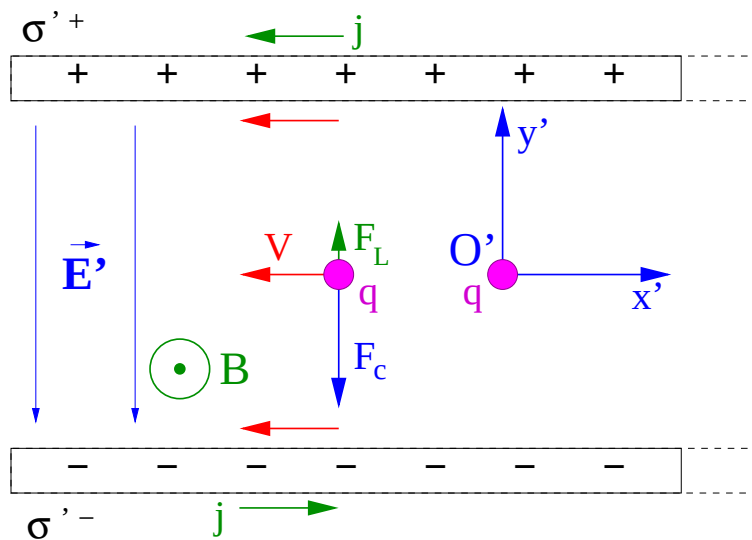
$$F = \frac{1}{\gamma^2} q E'$$

Siła ulega zmniejszeniu o czynnik γ^2 !?

Czy nie przeczy to równoważności układów?

Ruch cząstki w polu elektrycznym

Pole magnetyczne



Ale w układzie O' poruszają się także naładowane okładki kondensatora.

Płynie prąd o gęstości $j = V\sigma'$

Powstaje pole magnetyczne o indukcji

$$B = \mu_0 j = \mu_0 V \sigma' = \mu_0 \epsilon_0 V E'$$

Jaka siła musi działać na ładunek ze strony pola magnetycznego?

$$F_{tot} = \frac{1}{\gamma^2} q E' \quad \text{z transformacji}$$

$$F_c = q E' \quad \text{z równoważności układów odniesienia}$$

$$\Rightarrow \Delta F = F_c - F_{tot}$$

$$\Delta F = \left(1 - \frac{1}{\gamma^2}\right) q E' = \beta^2 q E'$$

Ruch cząstki w polu elektrycznym

Pole magnetyczne

Aby uzyskać równoważny opis ruchu pierwszego ciała w układzie O' musi na nie działać dodatkowa siła równa

$$\Delta F = \beta^2 q E'$$

Przypuszczamy, że siła ta musi pochodzić od pola magnetycznego wytworzonego przez poruszające się ładunki.

Porównajmy ją z klasycznym wyrażeniem na siłę Lorentza

$$F_L = q V B$$

Indukcja pola magnetycznego:

$$B = \mu_0 j = \mu_0 \epsilon_0 V E'$$

$$\Rightarrow F_L = q V \mu_0 \epsilon_0 V E'$$

$$F_L = \mu_0 \epsilon_0 c^2 \beta^2 q E'$$

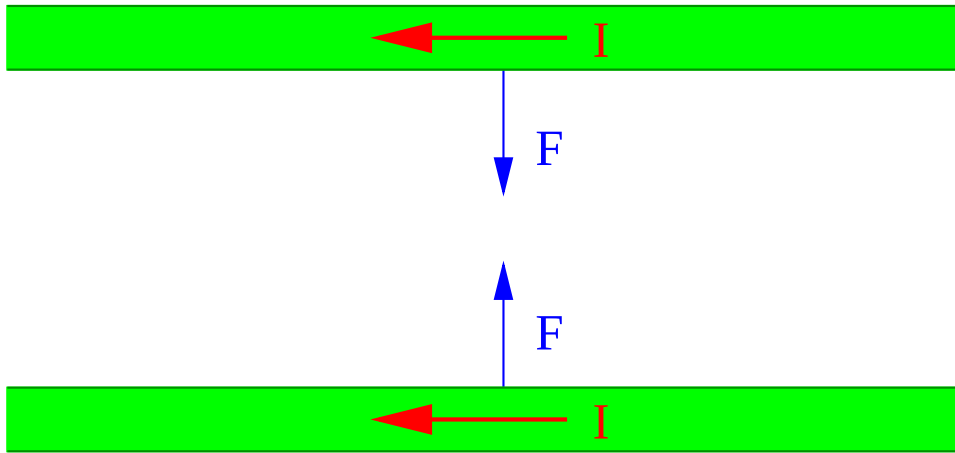
$$\Rightarrow \mu_0 = \frac{1}{\epsilon_0 c^2}$$

Zjawiska magnetyczne są ściśle związane z teorią względności!

W granicy klasycznej $\frac{1}{c^2} \rightarrow 0$ oddziaływania magnetyczne znikają, $B \equiv 0$!

Oddziaływanie przewodników z prądem

Prawo Ampere'a



Dwa równoległe przewodniki z prądem przyciągają się z siłą

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$$

(na jednostkę długości przewodnika)

r - odległość między przewodnikami

Jak szybko płyną ładunki w przewodniku?

Przykład: drut miedziany $S = 1 \text{ mm}^2$

gęstość miedzi: $\rho = 9 \text{ g/cm}^3$

masa molowa: $\rho_m = 64 \text{ g/mol}$

$\Rightarrow$ gęstość nośników: $n = \frac{\rho}{\rho_m} N_A$

liczba Avogadro $N_A \approx 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$

Gęstość ładunku na jednostkę długości:

$$\eta = n \cdot S \cdot e \approx 13.5 \frac{\text{C}}{\text{mm}}$$

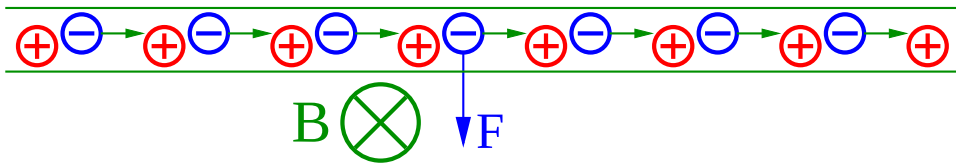
$$1 \text{ C} \approx 6.24 \cdot 10^{18} e$$

Prędkość nośników:

$$I = v \cdot \eta \quad \Rightarrow \quad v = \frac{I}{\eta} \approx 0.74 \text{ mm/s}$$

Oddziaływanie przewodników z prądem

Prawo Ampere'a



Elektrony w przewodniku poruszają się z niewiarygodnie małymi prędkościami

$$v \sim 1 \text{ mm/s}$$

ale jest ich bardzo dużo:

$$n \cdot S \sim 8 \cdot 10^{19} \text{ 1/mm}$$

Przyciąganie przewodników jest wynikiem oddziaływania pola magnetycznego wytworzonego przez jeden z nich

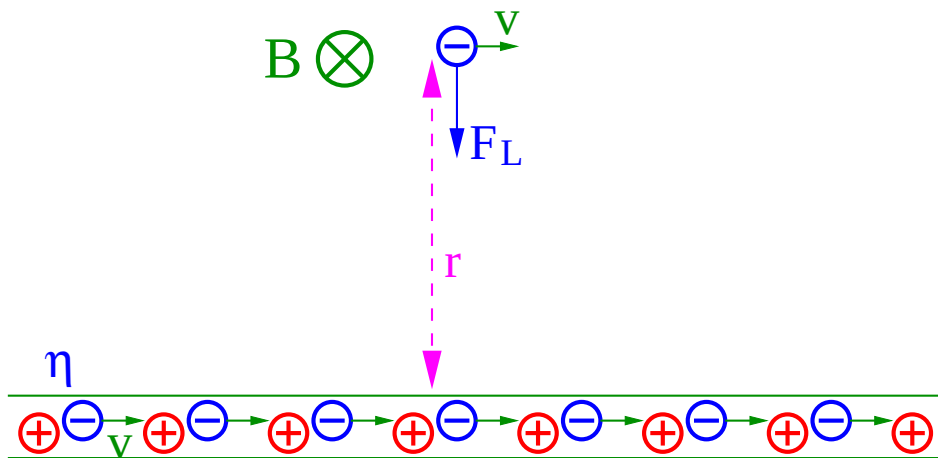
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

z elektronami poruszającymi się w drugim przewodniku.

Czy przy prędkościach rzędu mm/s jest wogóle sens mówić o efektach relatywistycznych?!

Oddziaływanie przewodników z prądem

Siła Lorentza



Rozważmy pojedynczy elektron.

Na nieruchome jony dodatnie pole magnetyczne nie działa.

Indukcja pola magnetycznego:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Natężenie prądu:

$$I = \eta v$$

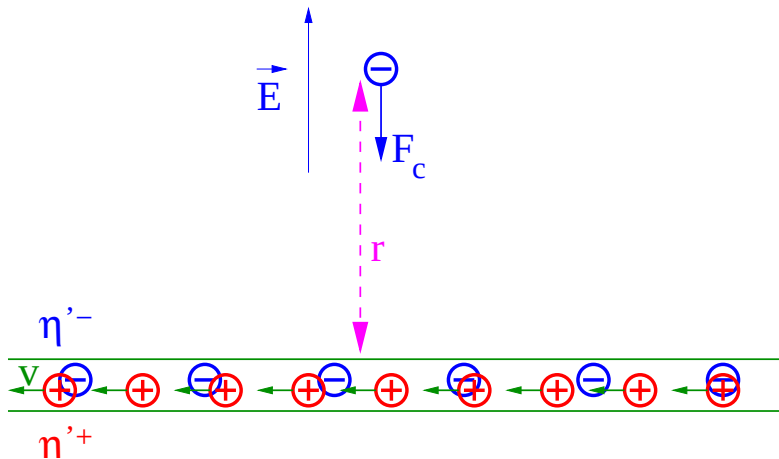
Siła Lorentza działająca na elektron:

$$F_L = q v B$$

$$F_L = \frac{\mu_0 q \eta v^2}{2\pi r}$$

Oddziaływanie przewodników z prądem

Gęstość ładunku



A jak to wygląda w układzie odniesienia związanym z elektronem?

W układzie tym **elektrony** w przewodniku są nieruchome, natomiast **jony dodatnie** poruszają się z prędkością v

Siła Lorentza znika.

Ale elektron jest **przyciągany** do drugiego przewodu! (wiemy to z obserwacji)

⇒ **Drut przestaje być obojętny!**

Odległości między jonami w przewodniku ulegają skróceniu:

$$\eta^{+'} = \gamma \cdot \eta > \eta$$

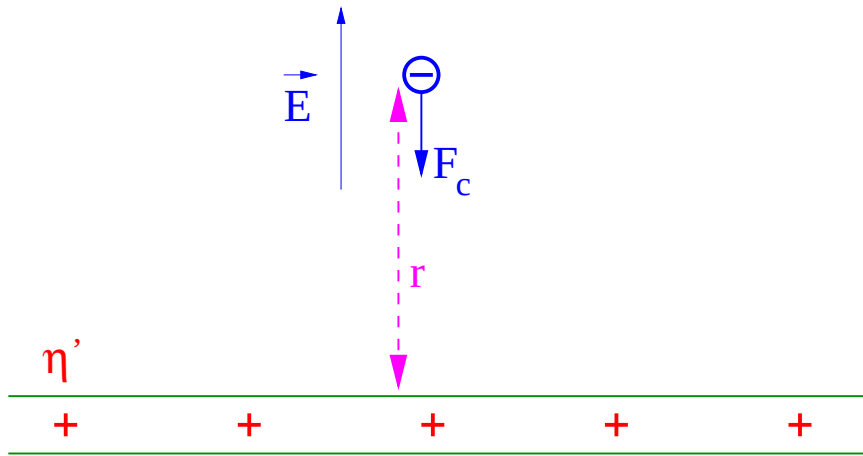
(skrócenie Lorentza)

odległości między elektronami w ulegają wydłużeniu:

$$-\eta^{-'} = \frac{1}{\gamma} \cdot \eta < \eta$$

Oddziaływanie przewodników z prądem

Pole elektryczne



W układzie odniesienia związanym z elektronem drut jest **naładowany dodatnio!**

Elektron jest przyciągany do drutu siłami Coulombowskimi

Przewody muszą się przyciągać!

Gęstość ładunku netto:

$$\eta' = \eta^{+'} + \eta^{-'} = \left(\gamma - \frac{1}{\gamma} \right) \cdot \eta$$

$$\eta' = \gamma \left(1 - \frac{1}{\gamma^2} \right) \cdot \eta = \gamma \beta^2 \eta$$

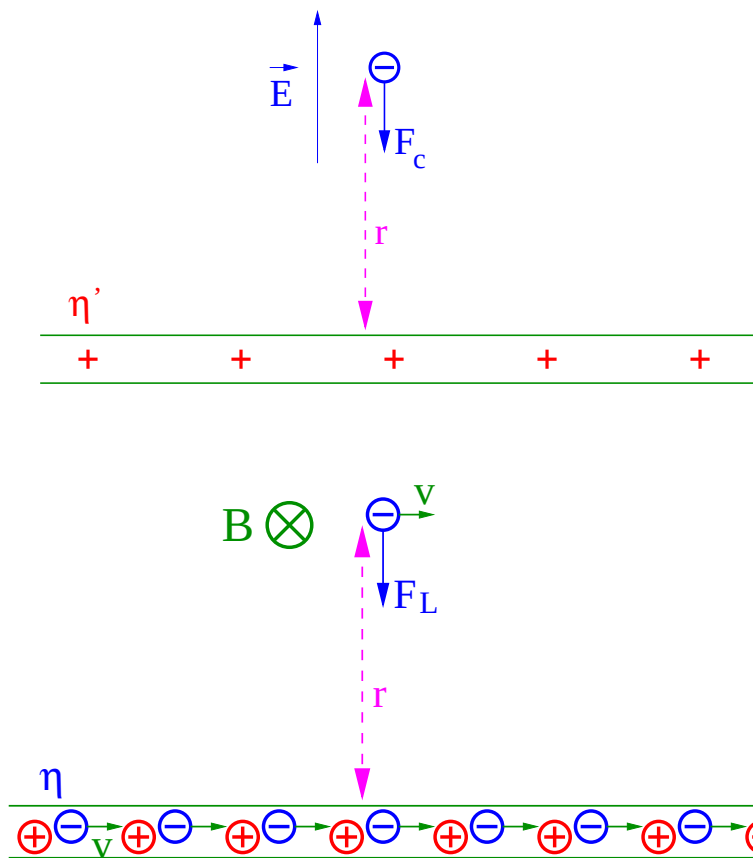
Pole elektryczne wytwarzane przez jednorodnie naładowany przewód:

$$E = \frac{\eta'}{2\pi r \epsilon_0}$$

$$E = \frac{\gamma \beta^2 \eta}{2\pi r \epsilon_0}$$

Oddziaływanie przewodników z prądem

Względność opisu



Siła działająca na elektron w jego układzie:

$$F_c = q \cdot E = \frac{q \gamma \beta^2 \eta}{2\pi r \epsilon_0}$$

Siła Lorentza w układzie laboratoryjnym:

$$F_L = \frac{\mu_0 q v^2 \eta}{2\pi r} = \frac{q \beta^2 \eta \mu_0 c^2}{2\pi r}$$

Z zasady względności efekt działania siły nie powinien zależeć od układu odniesienia.

Otrzymujemy ponownie:

$$\mu_0 = \frac{1}{\epsilon_0 c^2}$$

Elektryczność i magnetyzm

Choć prędkość nośników ładunku w przewodniku jest niezwykle mała ($\beta \sim 3 \cdot 10^{-12}$), to jest kompensowana przez ich ogromną gęstość ($n \sim 8 \cdot 10^{19} \text{ 1/mm}^3$)

Dlatego efekty relatywistyczne są wciąż widoczne: $n \beta^2 \sim 0.001 \frac{1}{\text{mm}^3}$

Historycznie badania z zakresu **elektrostatyki** (oddziaływań ładunków) i **elektromagnetyzmu** (oddziaływania prądów i pól magnetycznych) rozwijały się zupełnie niezależnie.

Dopiero w **2 połowie XIX w.** ustalono relacje między jednostkami **ładunku i prądu**, **Maxwell** sformułował równania wiążące oddziaływania elektryczne i magnetyczne.

Pod końcu XIX w. (**odkrycie elektronu**) zrozumiano na czym polega przepływ prądu.

W “**świecie Galileusza**” oddziaływania magnetyczne wydawały się niezależne.

Ale gdyby Galileusz miał rację **magnetyzm by nie istniał !!!**

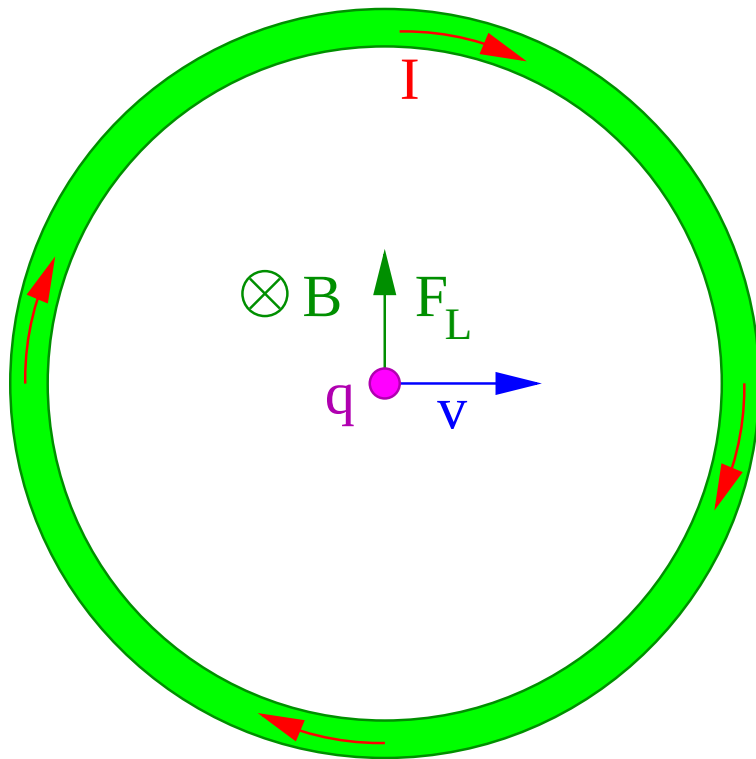
Siła Lorentza to relatywistyczna “**poprawka**” wynikająca z tego, że mierzymy rozkłady ładunków w “**złym**” układzie odniesienia...

Siłę działającą na ładunek powinniśmy wyznaczać w jego układzie odniesienia

Ruch cząstki w polu magnetycznym

Jednorodne pole magnetyczne

Rozważmy ładunek poruszający się w jednorodnym polu magnetycznym.



Pole magnetyczne solenoidu:

$$B = \mu_0 n I$$

n - liczba zwojów na jednostkę długości

$$B = \mu_0 u \sigma$$

u - prędkość nośników w przewodzie

σ - gęstość swobodnych nośników
(na jednostkę powierzchni solenoidu)

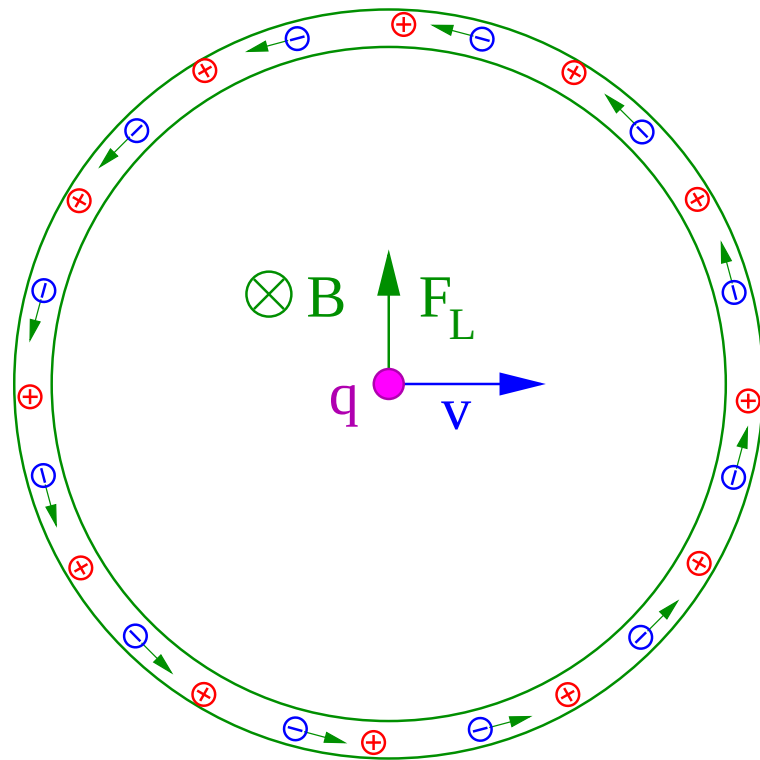
Siła Lorentza:

$$F_L = \mu_0 q v u \sigma$$

Ruch cząstki w polu magnetycznym

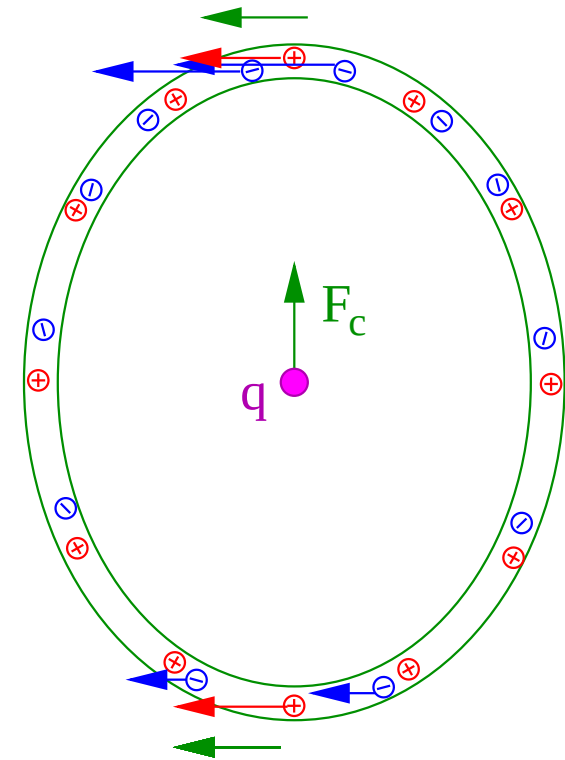
Jednorodne pole magnetyczne

Powstaje w wyniku ruchu elektronów w przewodniku



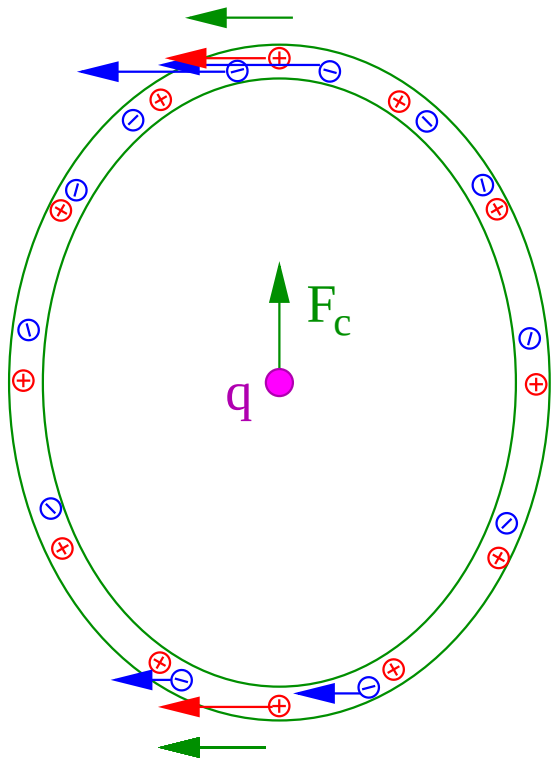
W układzie cząstki solenoid ulega spłaszczeniu.

Poruszają się zarówno elektrony jak i jony.

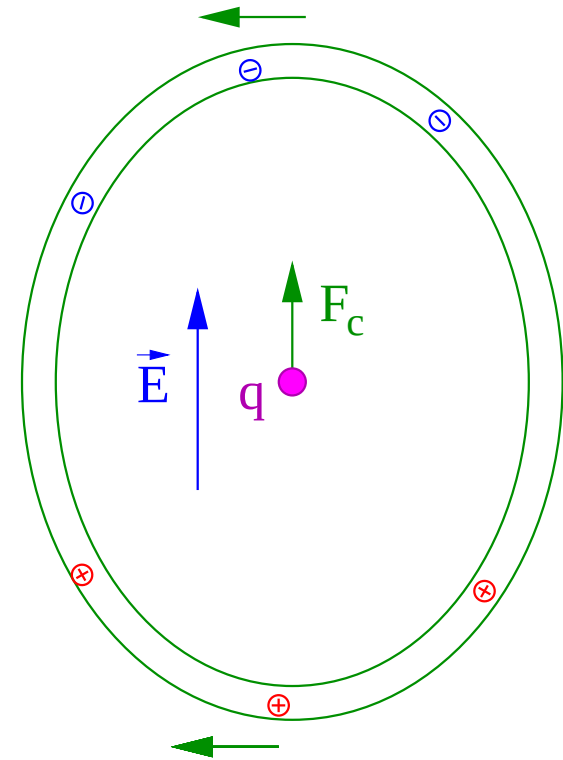


Ruch cząstki w polu magnetycznym

U góry prędkości elektronów są większe niż prędkości jonów $\Rightarrow \sigma^- > \sigma^+$



U góry mamy “netto” nadmiar ładunków ujemnych



Na dole prędkości jonów są większe: $\sigma^+ > \sigma^-$

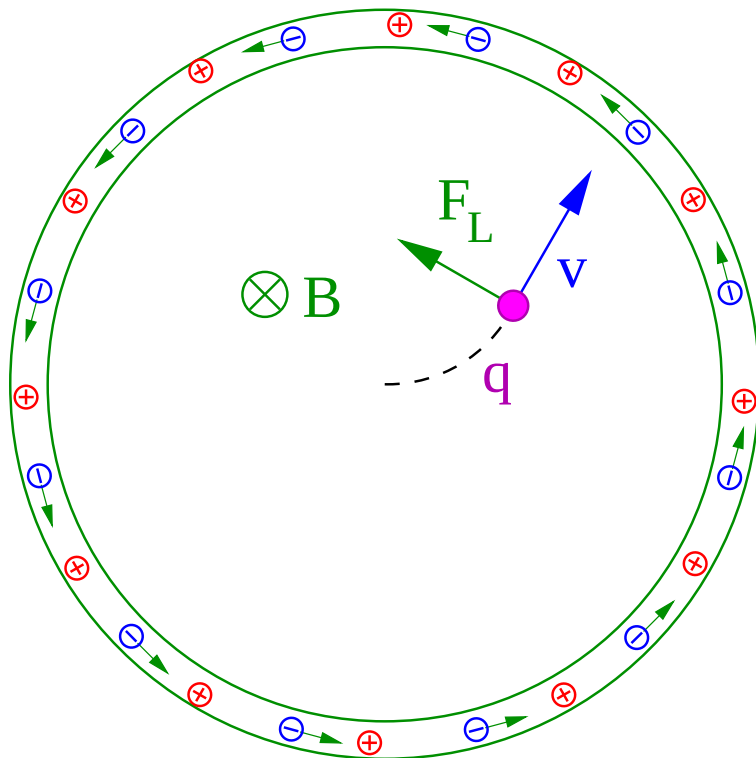
u dołu nadmiar ładunków dodatnich
 $\Rightarrow$ (jednorodne) pole elektryczne

Ruch cząstki w polu magnetycznym

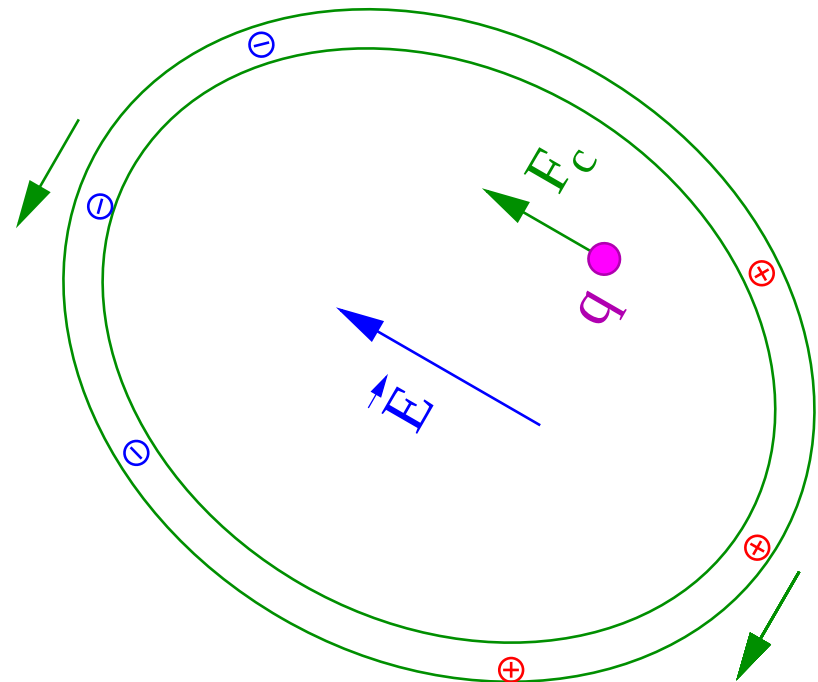
Jednorodne pole magnetyczne

Pod wpływem siły Lorentza następuje zakrzywienie toru cząstki

⇒ zmiana kierunku działania siły



W układzie cząstki spłaszczenie elipsy następuje zawsze wzdłuż kierunku ruchu, pole elektryczne prostopadłe do tego kierunku:



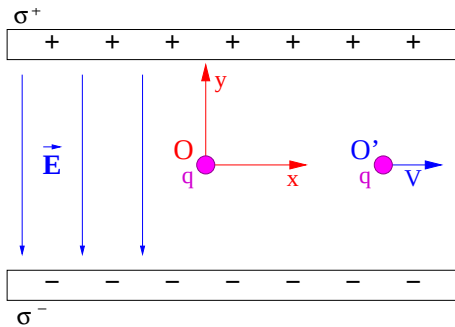
Pole magnetyczne

Transformacja Lorentza

Transformacja Lorentza ma zastosowanie także do pola elektrycznego i magnetycznego, jeśli wyrazimy je poprzez czteropotencjał **pola elektromagnetycznego**:

$$\mathcal{A} = (\Phi, \vec{A}) = (\Phi, A_x, A_y, A_z)$$

$$\vec{E} = -\text{grad}\Phi - \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad \vec{B} = \text{rot}\vec{A} = \vec{\nabla} \times \vec{A} \quad \vec{\nabla} = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$$



W **O**: jednorodne pole elektryczne: $\vec{E} = (0, -E, 0)$, $\vec{B} = \vec{0}$

Opisane jest przez potencjał: $\Phi = E \cdot y$ $\vec{A} = \vec{0}$

$\Rightarrow$ czteropotencjał $\mathcal{A} = (E y, 0, 0, 0)$

Transformacja do układu **O'** poruszającego się z prędkością $V = \beta c$:

$$\mathcal{A}' = (\gamma A_0 - \beta \gamma A_1, \gamma A_1 - \beta \gamma A_0, A_2, A_3) = (\gamma E y, -\beta \gamma E y, 0, 0)$$

$$\Rightarrow \vec{E}' = (0, -\gamma E, 0) \quad \text{i} \quad \vec{B}' = (0, 0, \beta \gamma E)$$

Podsumowanie wykładu

Najważniejsze elementy wykładu.

Co starałem się Państwu pokazać/przekazać:

- uniwersalność praw fizyki $\Leftrightarrow$ względność opisu
musimy zawsze sprawdzić warunki stosowalności przyjętego modelu
- prostotę równań ruchu
Dla fizyka są najważniejsze. Rozwiązywanie ich to już matematyka...
- potęgę praw zachowania
Dzięki nim możemy znacznie uprościć rozważane zagadnienia...
- prostota i piękno transformacji Lorentza
spójność opisu mimo wielu pozornych paradoksów
nie można być fizykiem nie rozumiejąc szczególnej teorii względności !
- związek z fizyką współczesną
Mechanika jest "fundamentem" całej fizyki, STW jest bliżej niż się nam wydaje...

Podsumowanie wykładu

Najważniejsze zagadnienia wymagane na egzaminie ustnym:
(na ocenę **dostateczną** i **dobrą**)

Postawy fizyki

- Budowa materii
- Układ jednostek SI, jednostki pochodne
- Fizyka klasyczna, relatywistyczna i kwantowa
- Błędy pomiarowe

Kinematyka

- Ruch, prędkość, przyspieszenie
- Ruch jednostajny, jednostajnie przyspieszony
- Ruch harmoniczny, po okręgu
- Efekt dopplera

Podsumowanie wykładu

Równania ruchu

- Zasady dynamiki w ujęciu Newtona
- Pojęcie układu inercjalnego
- Równania ruchu i zasada przyczynowości
rozwiązywanie prostych przykładów (klocek na równi)
- Ruch w jednorodnym polu elektrycznym i magnetycznym
- Opory ruchu
- Więzy
- Wahadło matematyczne
- Układy nieinercjalne, siła odśrodkowa i siła Coriolisa

Podsumowanie wykładu

Prawa zachowania

- Zasady zachowania pędu i momentu pędu
- Zderzenia niesprężyste
- Siły zachowawcze i zasada zachowania energii
- Zderzenia elastyczne
- Prawa Keplera, tory ruchu w polu sił centralnych
- Ruch ciała o zmiennej masie
- Zderzenia niecentralne
- Doświadczenie Rutherforda

Podsumowanie wykładu

Bryła sztywna

- Równowaga bryły sztywnej
- Dynamika ruchu wokół ustalonej osi:
moment bezwładności, równania ruchu, energia ruchu,
rozwiązywanie prostych zagadnień, np. walec na równi pochyłej
- Żyroskop i precesja
- Tensor momentu bezwładności, osie główne
- Błąd swobodny (jakościowo)

Podsumowanie wykładu

Szczególna Teoria Względności

- Transformacja położenia i czasu
- Dylatacja czasu i skrócenie Lorentza
- Interwał czasoprzestrzenny i przyczynowość
- Pęd i energia cząstki relatywistycznej
- Transformacja energii i pędu, masa niezmiennicza
- Wykres Minkowskiego
- Paradoks bliźniąt
- Zderzenia relatywistyczne, rozpady cząstek
- Foton jako cząstka, efekt Dopplera
- Związek STW ze zjawiskami magnetycznymi

Egzamin

Uzyskanie pozytywnej oceny końcowej z wykładu możliwe jest po pozytywnym zaliczeniu części rachunkowej i zdaniu egzaminu teoretycznego.

Część rachunkowa

Zaliczenie części rachunkowej odbywa się na podstawie obecności na ćwiczeniach, dwóch kolokwίων, punktów uzyskanych na ćwiczeniach i części rachunkowej egz. pisemnego.

- Obecność na ćwiczeniach jest obowiązkowa.
- W ramach ćwiczeń: do 5 punktów za kartkówki i do 5 punktów za aktywność.
- W ramach kolokwίων: po 3 zadania rachunkowe, maksymalnie po 5 punktów.
- Egzamin pisemny: 4 zadania rachunkowe, maksymalnie po 5 punktów.

Do zaliczenia konieczne jest uzyskanie łącznie przynajmniej 25 punktów.

Dopuszczenie do egzaminu pisemnego: przynajmniej 15 punktów z kolokwίων i ćwiczeń.

Egzamin

Egzamin pisemny

W dniu 26 stycznia 2010, godz. 9⁰⁰ – 13⁰⁰,

Sala Duża Doświadczalna + Aula + Adula DF (Smyczkowa)

Listy imienne osób dopuszczonych do egzaminu będą wywieszone w internecie.

Miejsca na salach będą numerowane, tak jak na kolokwiach.

Bardzo prosimy o wcześniejsze sprawdzenie przydzielonej sali i punktualne przybycie!

Egzamin będzie się składał z dwóch części:

- test “teoretyczny” $\Rightarrow$ 30 minut
krótka przerwa
- 4 zadania rachunkowe $\Rightarrow$ 3 godziny 30 minut

Egzamin

Test “teoretyczny”

30 pytań z materiału przedstawionego na wykładach
(teoria, wzory, proste problemy rachunkowe)

W miarę możliwości równomiernie rozłożonych tematycznie (2-3 pytania na wykład)

Do każdego pytania 4 odpowiedzi, z czego **dokładnie jedna** prawidłowa.

Punktacja:

- dobra odpowiedź $\Rightarrow +1$
- zła odpowiedź $\Rightarrow -0.5$ (losowe skreślanie nie opłaca się)

Zadania rachunkowe tak jak na kolowia

4 zadania z całego materiału przerabianego na ćwiczeniach

Materiał obowiązujący do obu kolokwiów (2 zadania)

+ Szczególna Teoria Względności (2 zadania)

Egzamin

Zaliczenie części rachunkowej

Do egzaminu pisemnego dopuszczone będą tylko te osoby, które z kolokwiów i ćwiczeń (kartkówki + ocena asystenta) uzyskały przynajmniej **15 punktów**.

W przeciwnym wypadku, część rachunkowa egzaminu pisemnego będzie traktowana jako kolokwium poprawkowe (osoby te nie piszą testu).

W obu przypadkach warunkiem jest też wymagana obecność na ćwiczeniach.

Do zaliczenia części rachunkowej konieczne jest uzyskanie łącznie (kolokwia + ćwiczenia + część rachunkowa egzaminu) przynajmniej 25 punktów.

Dobry wynik z egzaminu pisemnego może zaliczyć część rachunkową, także w przypadku kiepskich wyników obu kolokwiów.

Zaliczenie części rachunkowej jest niezbędne do zdania egzaminu!

Egzamin

Po porównaniu wyników części rachunkowej (+kolokwia)
oraz wyniku testu $\Rightarrow$ propozycja oceny

Egzamin ustny prawdopodobnie 28 i 29 stycznia, ew. 1 lutego.

Tylko dla osób, które zaliczyły część rachunkową,
w przypadku gdy:

- wyniki nie pozwalają na jednoznaczną ocenę
lub
- chcą poprawić zaproponowaną ocenę
poprawiając wyniki testu teoretycznego
- nie ma możliwości poprawienia oceny w przypadku
złych wyników obu części (rachunkowej i teoretycznej)

Egzamin

Przykładowe pytania testowe:

1. Jednostką układu SI nie jest:

☐ A A

☐ B mol

☐ C $^{\circ}\text{C}$

☐ D m

2. Jaką część metra stanowi 1 nm:

☐ A 10^{-6}

☐ B 10^{-9}

☐ C 10^{-12}

☐ D 10^{-15}

3. Jak skierowane jest przyspieszenie w ruchu prostoliniowym:

☐ A prostopadle do prędkości

☐ B równoległe do prędkości

☐ C dowolnie

☐ D nie ma przyspieszenia

4. Układ B porusza się z przyspieszeniem względem układu A. Wynika z tego, że:

☐ A Oba układy są inercjalne

☐ B Oba układy są nieinercjalne

☐ C Jeden z układów jest inercjalny

☐ D Jeden z układów jest nieinercjalny

Egzamin

Przykładowe pytania testowe:

5. Zasadę względności sformułował

- ☐ A Galileusz ☐ B Kopernik ☐ C Newton ☐ D Einstein

6. Zdarzeniem nie jest

- ☐ A wybuch supernowej ☐ B start rakiety ☐ C zachód Słońca
☐ D rozszczepienie jądra atomowego

7. Który z postulatów odrzucił Einstein

- ☐ A równoprawność układów odniesienia ☐ B zasadę bezwładności
☐ C uniwersalność czasu ☐ D uniwersalność prędkości światła

8. Energia dostępna w zderzeniach przeciwbieżnych wiązek elektronów o energiach 1 GeV i 9 GeV wynosi

- ☐ A 8 GeV ☐ B 6 GeV ☐ C 10 GeV ☐ D 5 GeV

Egzamin poprawkowy

Egzamin pisemny

W dniu 8 marca 2010 (poniedziałek), godz. 9⁰⁰ – 13⁰⁰

Organizacja jak w pierwszym terminie...

Egzamin ustny

Prawdopodobnie 11 i 12 marca...

Ankiety

Jeszcze przez 5 dni (do niedzieli 24 stycznia) w USOSie są dostępne do wypełnienia ankiety studenckie.

Prosimy o ocenę zarówno wykładu jak i ćwiczeń rachunkowych.

Szczególnie cenne są państwa komentarze.

Wśród osób wypełniających ankiety zostaną rozlosowane nagrody (zaproszenia do teatru lub filharmonii).



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt **Fizyka wobec wyzwań XXI w.**
współfinansowany przez Unię Europejską
ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego
w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki