

## Tematy egzaminacyjne z elektrodynamiki klasycznej <sup>1</sup>

### 1. Równania Maxwella w próżni

- Energia układu ładunków punktowych i problem samooddziaływania. Natężenie i potencjał pola elektrycznego. Prawo Coulomba. Prawo Gaussa. Elektrostatyczne prawa Maxwella. Elektrostatyka makroskopowa. Energia pola elektrycznego. Równania Laplace'a i Poissona. Warunki brzegowe Dirichleta i von Neumanna. Tożsamości Greena. Twierdzenia o jednoznaczności rozwiązań równań Laplace'a i Poissona. Warunki brzegowe w elektrostatyce. Elektrostatyka w przewodnikach. Siła działająca na powierzchnię przewodnika. Pojemność i kondensatory.
- Wprowadzenie równań Maxwella w próżni metodą pchnięć galileuszowskich (procedura Schwingera). Magnetyzm jako zjawisko związane z ruchem ładunków (Ampere). Transformacja Galileusza pól elektromagnetycznych. Siła Lorentza. Problemy z interpretacją nierelatywistyczną na przykładzie siły działającej na cząstkę naładowaną poruszającą się jednostajnie wzdłuż nienaładowanego przewodnika z prądem. Uogólnienie równań Maxwella i siły Lorentza na przypadek ładunków (monopoli) magnetycznych. Symetria dualności.
- Formalne rozwiązania równań elektrostatyki i magnetostatyki - twierdzenie Helmholtza. Prawa Coulomba i Biot-Savarta. Potencjał skalarny i wektorowy pól. Prawo Ampera.

### 2. Elektrodynamika w ujęciu relatywistycznym

- Struktura czasoprzestrzeni. Interwał czasoprzestrzenny. Transformacja (pchnięcie) Lorentza. Skrócenie Lorentza. Dylatacja czasu. Czas własny. Wektory kowariantne i kontrawariantne. Czerowektory i ich własności transformacyjne. Transformacja pól. Tensor pola elektromagnetycznego. Tensor dualny pola elektromagnetycznego. Równania Maxwella w notacji relatywistycznej. Siła Lorentza i relatywistyczne równanie ruchu.

### 3. Zasady zachowania

- Zasada zachowania ładunku. Gęstość i strumień energii pola elektromagnetycznego. Zasada zachowania energii (tw. Poyntinga). Wektor Poyntinga. Mechanistyczne własności pól: tensor napięć Maxwella i zasada zachowania pędu. Kabel koncentryczny jako przykład ilustrujący kompensację pędu mechanicznego nośników przez pęd pola.

### 4. Metody specjalne elektrostatyki

- Metoda obrazów i jej związek z metodą funkcji Greena (dla zagadnienia Dirichleta). Rozwiązania równania Laplace'a metodą separacji zmiennych w układach kartezjańskim, biegunowym i sferycznym. Pole elektryczne w narożnikach. Efekt ostrza. Rozwinięcie multipolowe - pola i potencjały w dużej odległości od zlokalizowanego rozkładu ładunków.

### 5. Elektrostatyka w ośrodku dielektrycznym

- Ładunki związane i swobodne. Polaryzacja. Wektor polaryzacji i wektor indukcji pola elektrycznego. Prawo Gaussa. Prawo Coulomba - wkłady powierzchniowy i objętościowy. Powierzchniowe i objętościowe ładunki związane. Elektrostatyczne równania Maxwella w ośrodku.

---

<sup>1</sup>Uwaga: Na egzaminie ustnym przewiduję możliwość skorzystania z notatek z wykładu.

Warunki brzegowe w dielektrykach. Dielektryki liniowe i izotropowe. Elektrostatyczne równania Maxwella w ośrodku liniowym i izotropowym. Warunki brzegowe w dielektrykach liniowych i izotropowych. Równania Laplace'a i Poissona w ośrodku liniowym i izotropowym. Energia pola elektrycznego w dielektryku.

## 6. Magnetostatyka w próżni

- Prawo Biot-Savarta. Prawo Ampera. Potencjał wektorowy pola magnetycznego. Niejednoznaczność potencjału wektorowego. Cechowanie Coulomba. Równanie Laplace'a i Poissona dla potencjału wektorowego z cechowaniem coulombowskim. Magnetostacyjne warunki brzegowe. Metoda potencjału skalarnego i jej ograniczenia. Rozwinięcie multipolowe potencjału wektorowego. Magnetyczny moment dipolowy. Potencjał wektorowy dipola magnetycznego. Moment dipolowy liniowego obwodu z prądem. Moment dipolowy układu naładowanych cząstek punktowych i jego związek z orbitalnym momentem pędu.

## 7. Magnetostatyka w ośrodku

- Paramagnetyzm, diamagnetyzm i ferromagnetyzm. Magnetostatyka makroskopowa. Magnetyzacja. Objętościowe i powierzchniowe prądy związane. Magnetostacyjne równania Maxwella w ośrodku - natężenie pola magnetycznego. Warunki brzegowe na granicach rozdziału ośrodków magnetycznych. Zastosowanie metody potencjału skalarnego do opisu magnesów trwałych (ośrodek nieliniowy). Objętościowa i powierzchniowa gęstość ładunku magnetycznego. Twierdzenie Poyntinga w ośrodku. Gęstość energii i wektor Poyntinga w ośrodku.

## 8. Prądy

- Równanie ciągłości. Prawo Ohma. Konsekwencje prawa Ohma - prądy powierzchniowe. Warunki zszycia dla gęstości prądów na granicy przewodników. Prądy stałe. Warunki zszycia dla pól i potencjałów w przypadku przepływu prądów stałych. Jednorodność pola elektrycznego w przewodniku. Rozpad ładunku objętościowego w przewodniku.

## 9. Pole elektromagnetyczne zależne od czasu

- Prądy związane od ładunków polaryzacyjnych. Pełny układ równań Maxwella w liniowym ośrodku dielektrycznym i magnetycznym. Warunki brzegowe na granicach ośrodków dla pól elektromagnetycznych zależnych od czasu.
- Prawo Faradaya. Strumień pola magnetycznego. Siła elektromotoryczna. Indukcyjność. Współczynnik indukcji własnej. Praca przeciw przeciwstawnej SEM cewki indukcyjnej.
- Równania falowe w nieskończonym liniowym dielektryku bez ładunków i prądów. Fale płaskie. Polaryzacja. Transport energii przez fale płaskie. Ciśnienie światła. Prawa optyki geometrycznej (kinematyka). Wzory Fresnela (dynamika).
- Fale elektromagnetyczne w przewodniku. Zjawisko tłumienia światła. Przesunięcie fazowe pól elektrycznego i magnetycznego.
- Cechowanie Lorentza. Równania falowe w liniowym ośrodku dielektrycznym ze źródłami. Równanie Helmholtza. Funkcje Greena dla równania falowego. Formalne rozwiązania równania falowego przy pomocy funkcji Greena. Potencjały opóźnione. Pola Jefimienki.
- Oscylujące monochromatyczne źródła promieniowania (anteny). Promieniowanie w obszarze promieniowania (dalekim). Rozwinięcie multipolowe. Przybliżenie dipola elektrycznego i dipola magnetycznego. Rozkład kątowy mocy promieniowania dipolowego.