# Lesson Plan — Electrostatics / Electric Charges and Fields

Physics | Grade 11-12 | Intermediate | Chapter 1: Electric Charges and Fields

## Overview

| | |
|---|---|
| Subject | Physics |
| Grade band | 11-12 |
| Topic | Electrostatics / Electric Charges and Fields |
| Chapter | Chapter 1: Electric Charges and Fields |
| Source document | 1.4.1 Additivity of charges |
| Periods | 7 x 40 min |

## Learning Objectives

- [apply] Calculate the magnitude and direction of the electrostatic force between two point charges using Coulomb's law for given charges and separation.
- [apply] Given a source charge Q and a test charge q at position r, compute the electric field E(r) and use F = qE to find the force on the test charge.
- [analyze] Use Gauss's law to determine the electric field for symmetric charge distributions (point charge/sphere, infinite plane, infinite line).
- [understand] Explain, with examples from rubbing and particle creation, how net charge is conserved and how macroscopic charges are integer multiples of the elementary charge e.
- [apply] Given a dipole moment p in a uniform external field E, compute the torque τ = p × E and describe the dipole field dependence at large distances (r >> a).
- [analyze] Formulate the electric field at a point due to a continuous charge distribution by expressing the contribution from a volume element dq = ρ dV and setting up the corresponding integral.

## Period-by-Period Plan

### Period 1: रगड़ से आवेश: प्रकार, चालक-इन्सुलेटर

| | |
|---|---|
| Concepts | Electrostatics, Electric charge (two kinds), Conductors and insulators |
| Objectives | Explain, with examples from rubbing and particle creation, how net charge is conserved and how macroscopic charges are integer multiples of the elementary charge e. |
| Time allocation | पहला सक्रियण: रोज़मर्रा के उदाहरणों पर चर्चा (रगड़कर बाल/कपड़ा, प्लास्टिक कंघी) और मापन इकाइयों की याद (आवेश Q, कूलॉम्ब C) (6 min), प्रयोग-प्रदर्शन: काँच की छड़ी और ऊन से रगड़कर इलेक्ट्रोस्कोप में अलगाव दिखाना; नोट करें कि आवेश सतह पर कैसे पुनर्वितरित होता है (सैंपल मापन संकेत: ±n·e या ±Q C) (12 min), तत्त्व-निर्धारण (क्रमानुवर्ति व्युत्पन्न): आवेश संरक्षण क्यों होता है—कण-निर्माण/विलयन उदाहरण और गणना; आवेश के परिच्छेदों को |

| | |
|---|---|
| | चरण-दर-चरण दिखाना जिससे macroscopic आवेश ±n·e (e = 1.60×10$^{-19}$ C) निकल कर आये (10 min), नियंत्रित अभ्यास: जोड़े बनकर दो छोटे प्रयोग/सोच-प्रयोग करें — एक वस्तु से दूसरी में आवेश का स्थानांतरण गिनना तथा कुल Q (कूलॉम्ब में) और n·e के अनुकूलता की जाँच (7 min), तुरंत जाँच और समेकन: त्वरित परीक्षा (3 मौखिक प्रश्न) यह जाँचे कि छात्र आवेश इकाई, संचरण और चालक/इन्सुलेटर के व्यवहार को निर्दिष्ट इकाइयों के साथ बता पाते हैं; होमवर्क: एक छोटा समस्या सेट जो रगड़-प्रयोगों के मापन और n·e गणना पर केन्द्रित है (5 min) |
| Why this order | यह अवधि बुनियादी रगड़-प्रयोगों से सकारात्मक/नकारात्मक आवेश और चालक बनाम इन्सुलेटर के व्यवहार को स्थिर कराती है, और आगे के पाठों (Conservation of charge, Quantisation of charge, Principle of superposition) में आवेश संरक्षण और सुपरपोज़िशन लागू करने के लिए आवश्यक शब्दावली व मापन-संकेत देती है। |

## Period 2: आवेश संरक्षण, परिमाण, सुपरपोजिशन

| | |
|---|---|
| Concepts | Conservation of charge, Quantisation of charge, Principle of superposition |
| Objectives | Explain, with examples from rubbing and particle creation, how net charge is conserved and how macroscopic charges are integer multiples of the elementary charge e. |
| Time allocation | पूर्व-ज्ञान सक्रिय करना: पिछली अवधि के रगड़ से आवेश के एक त्वरित प्रयोग/छवि पर चर्चा और प्रश्न (कौन-सा भाग चालक था, आवेश कैसे बंटा?) (5 min), नवीन अवधारणाओं का परिचय और कदम-दर-कदम व्युत्पत्ति: आवेश संरक्षण को गणितीय और तकनीकी रूप से समझाना (आइसोलेटेड सिस्टम, गणना के साथ) तथा आवेश के परिमाण q = n·e को नाभिकीय-घटनाओं और रगड़ के उदाहरण से व्युत्पन्न करना; इकाइयाँ स्पष्ट करना (कुल आवेश C, ई = 1.6×10$^{-19}$ C)। (12 min), प्रयोग/प्रदर्शनी: काँच/प्लास्टिक रॉड और ऊन/कपड़े से रगड़ कर वस्तु को आवेशित करना, इलेक्ट्रोस्कोप पर परिवर्तन देखना; प्रयोग के नोट्स में मापनीय मात्रा (कुल आवेश संकेत, संकेत के परिवर्तन) दर्ज करना ताकि संरक्षण और डिस्क्रीट-ट्रांसफर दिखे। (8 min), मार्गदर्शित अभ्यास: दो संख्यात्मक वर्क्ड उदाहरण — (1) रगड़ से वस्तुओं पर आवेशों का पुनर्वितरण और कुल q की जाँच (कुल C में), (2) दो बिंदु आवेशों द्वारा किसी तृतीय आवेश पर सुपरपोजिशन से परिणामी बल की वेक्टर गणना; सभी चरणों में इकाइयाँ लिखना और संख्या-गणना दिखाना। (10 min), प्राप्ति जाँचना और समेकन: त्वरित चार-प्रश्न फॉर्मेटिव क्विज (राइट/फॉल्स, छोटा गणित) और एक 'एक वाक्य में समझाइए' निष्कर्षिक प्रश्न जिसमें छात्र conservation + quantisation + superposition को जोड़कर उत्तर दें। (5 min) |
| Why this order | यह अवधि 'रगड़ से आवेश: प्रकार, चालक-इन्सुलेटर' में सीखे गए प्रयोगात्मक चालन और आइसोलेशन की समझ पर निर्माण करती और रगड़ व कण-सृष्टि के उदाहरणों से आवेश के संरक्षण और आवेश के परिमाण (q = n e) को व्यंजनीय बनाती; यह अगली अवधि के 'Electric field, Electric flux, Electric field lines, Electric dipole' में फोर्स और क्षेत्र की गणना के लिए आवश्यक विचार-मंच तैयार करती। |

## Period 3: बिंदु आवेश और विद्युत क्षेत्र गणना

| | |
|---|---|
| Concepts | Electric field, Electric flux, Electric field lines, Electric dipole |
| Objectives | Given a source charge Q and a test charge q at position r, compute the electric field E(r) and use F = qE to find the force on the test charge. |
| Time allocation | पूर्वज्ञान सक्रिय करना: सुपरपोजिशन और संख्यात्मक आवेश याद दिलाना (दो उदाहरण, इकाइयाँ C स्पष्ट करें) (5 min), प्रयोग-प्रदर्शन: एक छोटे धातु-पपड़ी/पिथ बॉल और चार्ज किए गए रॉड से क्षेत्र की दिशा और बल देखें; प्रयोग में दूरी (m) और प्रशासित चार्ज (C) दर्ज करना (8 min), सूत्र क्रमिक व्युत्पन्न: कूलॉम्ब नियम से E(r) तक कदम-दर-कदम व्युत्पन्न दिखाना, |

| | |
|---|---|
| | हर कदम में मात्रात्मक इकाइयाँ (N·m²/C, C, m) रखना (10 min), दिशा और परिमाण अभ्यास: दिए गए Q और r के साथ E(r) निकालना और फिर q पर F = qE से बल (N) प्राप्त करना — जोड़ीदार निर्देशित समस्याएँ (दो संख्यात्मक उदाहरण) (10 min), समझ की जाँच: तीन संक्षिप्त प्रश्न — एक तात्कालिक गणना, एक दिशा की व्याख्या, एक इकाई-चेक (4 min), समीक्षा व संलयन: मुख्य बिंदु दोहराना, मापक उदाहरणों के साथ नोट्स (E के इकाई, दिशा, सुपरपोजिशन) और गृहकार्य सेट करना (समस्या सेट) (3 min) |
| Why this order | यह अवधि 'आवेश संरक्षण, परिमाण, सुपरपोजिशन' में सिद्ध सिद्धान्तों (आवेश की संख्या और सुपरपोजिशन) पर आधारित है और सीधे आगे 'डाइपोल दूर-क्षेत्र निर्भरता, गॉस का नियम, विद्युत घनत्व' को गणनात्मक और दृश्य समझ देने के लिए तैयार करती है। |

## Period 4: दीपोल दूर-क्षेत्र और गौस नियम

| | |
|---|---|
| Concepts | Dipole far-field dependence, Gauss's law, Electric flux |
| Objectives | Given a source charge Q and a test charge q at position r, compute the electric field E(r) and use F = qE to find the force on the test charge. |
| Time allocation | पूर्वज्ञान सक्रिय: बिंदु आवेश का E(r) और F = qE दो त्वरित उदाहरण; हर गणना में इकाइयाँ स्पष्ट करें (कुल आवेश Q, दूरी r, न्यूटन/कूलम्ब) (5 min), नया प्रस्तुतीकरण: दीपोल मोमेंट p = q·2a को परिभाषित कर चरण-दर-चरण व्युत्पन्न करें कि r >> a पर E  p / (4πε0 r^3); प्रत्येक चरण में गणना और इकाइयाँ दिखाएँ (12 min), प्रयोग/प्रदर्शन: एक यथार्थ उदाहरण — दो बराबर व विपरीत आवेशों से बना छोटा दीपोल (q=1 μC, 2a=2 cm) का दूर-क्षेत्र अनुमान और मापन-संख्याएँ दिखाएँ; p के मान और r पर 1/r^3 घटाव को चार्ट में एंकर करें (8 min), मार्गदर्शित अभ्यास: जोड़े में 2 प्रश्न — (a) दिए गए p और r पर E निकालें और एक परीक्षण आवेश q पर F = qE निकालें (सभी इकाइयाँ), (b) सरल बंद सतह पर गौस का नियम लगाकर प्रवाह और आवेश की पुष्टि करें; शिक्षक परिभ्रमण द्वारा प्रतिक्रिया दें (10 min), सत्यापन व समेकन: 3-मिनट क्विज़ (1 त्वरित गणना, 1 संकल्पना) और संक्षेप में नोट्स — कब दीपोल समीकरण प्रयुक्त करें और कब गौस का नियम सरल होगा; होमवर्क: एक निरंतर रेखीय आवेश के लिए निकटता/दूर-क्षेत्र विवेचना की पूर्वभावना लिखने के निर्देश (5 min) |
| Why this order | यह अवधि 'बिंदु आवेश और विद्युत क्षेत्र गणना' में सीखे गए बिंदु-आवेश के E(r) और विद्युत प्रवाह की समझ पर बनती है, और दूर-क्षेत्र के लिए दीपोल मोमेंट p = q·2a और 1/r^3 निर्भरता तथा गौस के नियम को परिचित कराती है; यह अगले पाठों (Continuous charge distributions, Coulomb's law, Superposition principle) के लिए निरन्तर आवेश वितरणों और सुपरपोज़िशन के प्रयोग योग्य परिणाम बनाती है। |

## Period 5: सतत आवेश वितरण और कूलॉम्ब नियमन

| | |
|---|---|
| Concepts | Continuous charge distributions, Coulomb's law, Superposition principle |
| Objectives | Calculate the magnitude and direction of the electrostatic force between two point charges using Coulomb's law for given charges and separation. |
| Time allocation | पूर्व-सक्रियण: पिछली अवधि का त्वरित पुनरावलोकन — दीपोल दूर-क्षेत्र निर्भरता व गौस नियम से संबंधित एक विचार प्रयोग; 2 संक्षेप प्रश्न जो क्षेत्र/आवेश संरक्षण से जुड़ते हैं (5 min), परिचय व व्युत्पत्ति: बिंदु आवेशों के लिए कूलॉम्ब नियम (k=1/(4πϵ0)) कदम-दर-कदम व्युत्पन्न दिखाना; सतत वितरण में रैखिक/पृष्ठ/घनत्व परिभाषित करना और dq = ρ dV आदि कहाँ से आता है — प्रत्येक सांकेतिक प्रतीक के साथ मात्रक (C, m, C·m⁻³) दर्शाना (12 min), प्रदर्शन/अनुभव: छोटी धातु गेंदों से युक्त कक्षा-डेमो जहाँ बल सेन्सर या तराजू द्वारा दूरी बदलते समय बल मापा जाए; माप को कूलॉम्ब की अपेक्षित अनुक्रम द्वारा आँकड़ों से प्रतिक्षेप करना और इकाइयाँ स्पष्ट करना (8 min), समस्याग्रहण (मार्गदर्शित अभ्यास): शिक्षक के साथ एक उदाहरण — एक रैखिक आवेश वितरण λ(x) के लिए किसी बिंदु पर E का इंटीग्रल |

| | |
|---|---|
| | चरण-दर-चरण निकालना, यूनिट्स हर चरण में लिखना; फिर जोड़े में एक छोटा समस्या सेट (2 प्रश्न) हल कराना (10 min), तपास और समेकन: त्वरित मौखिक प्रश्नोत्तरी (3 मल्टी-चॉइस/संख्यात्मक) से समझ जाँचना; मुख्य सूत्रों और इकाइयों का सारांश लिखाना और गृहकार्य के लिए एक समेकन प्रश्न देना (एक सतत पृष्ठ आवेश का क्षेत्र निकालना) (5 min) |
| Why this order | यह अवधि 'दीपोल दूर-क्षेत्र और गौस नियम' में समझाए गए द्विध्रुवी द्रव्यमान/क्षेत्र विचारों पर निरंतर आवेश घनत्व की अवधारणा जोड़ती है, और आगे जाकर 'Electric field lines, Torque on an electric dipole in a uniform field, Dipole electric field dependence, Field of an infinitely long straight uniformly charged wire' के लिए इन इंटीग्रल विधियों और कूलॉम्ब नियम के अनुप्रयोगों को संभव बनाती है। |

## Period 6: तार, डाइपोल और क्षेत्ररेखाएँ

| | |
|---|---|
| Concepts | Electric field lines, Torque on an electric dipole in a uniform field, Dipole electric field dependence, Field of an infinitely long straight uniformly charged wire |
| Objectives | Given a dipole moment p in a uniform external field E, compute the torque $\tau = p \times E$ and describe the dipole field dependence at large distances ($r >> a$). |
| Time allocation | पूर्वसक्रियण: सतत आवेश और सुपरपोजिशन की 2 प्रश्न-उत्तर गतिविधि (दो मिनट प्रति प्रश्न) — सरल उदाहरण λ और dq के साथ, इकाइयाँ स्पष्ट करें ($C \cdot m^{-1}$, C आदि) (5 min), परिचय और प्रदर्शन: अनंत समरूपतः आवेशित तार का दृश्य प्रदर्शन — सूक्ष्म तार और इलेक्ट्रोस्कोप/फील्ड प्रोब से त्रिज्या r पर दिशात्मक क्षेत्र दिखाएँ; व्युत्पन्न $E = \lambda/(2\pi\epsilon_0 r)$ को चरण-दर-चरण प्राप्त करें और सभी चरणों में इकाइयाँ ($N \cdot C^{-1}$) लिखें (8 min), डाइपोल सिद्धांत परिचय और प्रयोग: छोटा डाइपोल (±q अलगाव 2a) प्रयोग द्वारा टॉर्क $\tau = p \times E$ प्रदर्शित करें; p के आयाम ($C \cdot m$) और τ के आयाम ($N \cdot m$) बताकर सूत्र चरण-दर-चरण निकालें तथा एक संख्यात्मक उदाहरण हल करें ($q=1.0\times10^{-6}$ C, $a=1.0\times10^{-2}$ m, $E=100$ $N \cdot C^{-1}$) (12 min), अनुप्रयोग अभ्यास: दो गणनात्मक प्रश्न जो शिक्षक-निर्देशित हों — (a) वायर पर r बदलने से E कैसा बदलता है (λ दिया), (b) डाइपोल के लिए दूरी $r>>a$ पर $1/r^3$ व्यवहार दिखाना और संख्यात्मक तुलना; विद्यार्थी जोड़ों में लिखित हल प्रस्तुत करें (8 min), मूल्यांकन और समेकन: 5-मिनट छोटा क्विज — एक प्रश्न पर फील्ड लाइन चित्रण व्याख्या, एक पर τ की दिशा (वेक्टर(criss) नियम) और एक पर इकाई-वाले तर्क सहित संक्षेप; शिक्षक तत्काल प्रतिक्रिया दे कर मुख्य बिंदु संक्षेपित करे (7 min) |
| Why this order | यह कालखंड "सतत आवेश वितरण और कूलॉम्ब नियमन" में सीखी गई सुपरपोजिशन और इंटीग्रेशन धाराओं पर निर्माण करता है और छात्रों को तार के लिए $E = \lambda/(2\pi\epsilon_0 r)$, डाइपोल का $\tau = p \times E$ तथा दूर पर $1/r^3$ निर्भरता समझने के बाद अगले विषयों — Field of an infinite uniformly charged plane; Field of a uniformly charged thin spherical shell; Field from continuous distribution via integration — की गणना और समेकन के लिए तैयार करता है। |

## Period 7: अनंत समप्रमाण तल, गोला और समाकलन क्षेत्र

| | |
|---|---|
| Concepts | Field of an infinite uniformly charged plane, Field of a uniformly charged thin spherical shell, Field from continuous distribution via integration |
| Objectives | Use Gauss's law to determine the electric field for symmetric charge distributions (point charge/sphere, infinite plane, infinite line).; Formulate the electric field at a point due to a continuous charge distribution by expressing the contribution from a volume element $dq = \rho\, dV$ and setting |

| | |
|---|---|
| | up the corresponding integral. |
| Time allocation | पूर्व-ज्ञान सक्रिय करना: पिछली कक्षाओं में अनंत तार और क्षेत्ररेखाओं के मुख्य बिंदु (2–3 वाक्य, इकाइयाँ स्पष्ट) छात्रों से मौखिक रूप से याद कराना (5 min), प्रयोग/दर्शन: दो धातु प्लेटों के बीच समान आवेशित प्लेन का सरल लघु प्रयोग या सिमुलेशन दिखाना ताकि E का दिशा और दूरी-निर्भरता (यूनिट्स: N/C) अनुभव में आए (8 min), निरूपण: चरण-दर-चरण व्युत्पत्ति — अनंत समप्रमाण तल के लिए Coulomb के नियम से अभिन्न करना और सिम्प्लीफाइ कर E = σ/(2ε0) प्राप्त करना; हर चरण में मात्राएँ और इकाइयाँ लिखना (8 min), Gauss से गोला क्षेत्र: गोले के उत्पन्न क्षेत्र के दो दृष्टिकोण दिखाना — (a) Gauss का नियम से बाह्य और आन्तरिक E विश्लेषण कर दिखाना (E = q/(4πε0 r^2) बाहर, E=0 अंदर), (b) छोटे dq तत्व लेकर समाकलन से बाहर के क्षेत्र की पुष्टि करना; हर गणना में dq=ρdV और इकाइयाँ स्पष्ट रखना (10 min), निर्देशित अभ्यास: जोड़ी में 2 छोटे प्रश्न हल कराना — (i) समतलीय क्षेत्र पर संख्यात्मक मान निकालना (σ दिया, इकाई N/C); (ii) गोले के लिये दिए गए q और r पर E की तुलना; शिक्षक घूम-घूम कर त्रुटियाँ ठीक करे (6 min), प्रक्षेपण-जाँच और समेकन: एक त्वरित मौखिक क्विज (2 प्रश्न) से अवबोधन जाँचना और होमवर्क में एक समाकलन-आधारित समस्या देकर क्लोज करना (3 min) |
| Why this order | यह काल पिछले पाठ 'तार, डाइपोल और क्षेत्ररेखाएँ' में सीखे गए क्षेत्ररेखाओं, डाइपोल torque और अनंत तार के क्षेत्र के विचारों पर निर्माण करता है और इन सिद्धांतों को उपयोग में लाकर अनंत तल और समतलीय गोला के लिए Gauss के नियम तथा निरन्तर आवेश वितरण के लिये dq = ρ dV पर आधारित समाकलन स्थापित करना संभव बनाता है; आगे कोई पाठ नहीं है क्योंकि यह समापन काल है। |

## Concepts Taught

| Concept | Importance | Summary |
|---|---|---|
| Electrostatics | core | Study of forces, fields and potentials arising from static charges. |
| Electric charge (two kinds) | core | Matter can acquire electric charge by rubbing; there are two kinds of charge (positive and negative) and like charges repel while unlike charges attract. |
| Conductors and insulators | core | Conductors allow electricity to pass through them easily (charges move freely and redistribute over the surface); insulators resist passage of electricity and charges placed on them stay where put. |

| Concept | Importance | Summary |
| --- | --- | --- |
| Conservation of charge | core | Within an isolated system, total electric charge is conserved: total charge may redistribute but the net charge remains constant. |
| Quantisation of charge | core | Electric charge occurs only in integer multiples of a basic unit e (the electron charge): q = n e. |
| Principle of superposition | core | The total force on any charge due to a collection of other charges is the vector sum of forces due to each charge taken individually; individual pair forces are unaffected by other charges. |
| Electric field | core | A charge produces an electric field in the surrounding space; the force on a test charge q placed at r is F = q E(r). |
| Electric flux | supporting | A scalar measure proportional to the number of electric field lines crossing an area; for a surface element dS, the flux is E dS = E dS cos theta. |
| Electric field lines | supporting | Pictorial curves whose tangents at each point show the direction of the electric field; density of lines indicates relative field strength; field lines start on positive charges and end on negative charges. |

| Concept | Importance | Summary |
| --- | --- | --- |
| Electric dipole | core | A pair of equal and opposite point charges +q and 2q separated by distance 2a; has zero net charge but nonzero dipole moment and characteristic far-field that falls off faster than a single charge's field. |
| Dipole far-field dependence | core | At distances much larger than the dipole separation (r >> a) the dipole field depends on the dipole moment p (= q  2a) and falls off as 1/r^3. |
| Gauss's law | core | Electric flux through a closed surface equals the total enclosed charge divided by epsilon_0. |
| Electric flux | core | Flux through a surface element equals the dot product of the electric field and the vector area element; total flux is sum/integral over the surface. |
| Continuous charge distributions | core | Discrete charges are replaced by densities (linear, surface, volume) so charge in a small element is density times element; fields then found by integrating Coulomb's law over the distribution. |

| Concept | Importance | Summary |
| --- | --- | --- |
| Coulomb's law | core | Force between two point charges is proportional to product of charges and inverse square of separation, directed along line joining them; constant k = 1/(4 pi epsilon_0). |
| Superposition principle | core | Net force or field at a point due to multiple charges is the vector sum of contributions from each charge; presence of other charges does not change pairwise forces. |
| Electric field lines | supporting | Field lines are curves whose tangent at each point gives the electric field direction; density of lines indicates field strength and lines start/end on charges. |
| Torque on an electric dipole in a uniform field | supporting | A dipole of moment p in uniform field E experiences a torque equal to p cross E which tends to align the dipole with the field; net force is zero. |
| Dipole electric field dependence | supporting | Field of a dipole falls off faster with distance than a point charge; formulas differ on axis and equatorial plane and for r >> a reduce to 1/r^3 behaviour leading to 1/r^2 for potential-derived fields (text gives specific limits). |
| Field of an infinitely long straight uniformly charged wire | core | Electric field is radial in plane normal to wire and magnitude E = lambda/(2 pi epsilon_0 r). |

| Concept | Importance | Summary |
| --- | --- | --- |
| Field of an infinite uniformly charged plane | core | Electric field near an infinite plane with surface charge density sigma is E = sigma/(2 epsilon_0), directed normal to plane and independent of distance. |
| Field of a uniformly charged thin spherical shell | core | Outside the shell field is as if total charge q is concentrated at centre (E = q/(4 pi epsilon_0 r^2)); inside the shell field is zero. |
| Field from continuous distribution via integration | core | Electric field from a continuous charge distribution is obtained by summing/integrating contributions from infinitesimal charge elements using Coulomb's law and superposition. |

## Formulae

### Quantisation of charge

q = n e

where q = charge on a body (C); n = integer multiple; e = elementary charge (magnitude of charge on electron/proton) (C)

### Coulomb's law (scalar)

F = k q1 q2 / r^2

where F = magnitude of electrostatic force between two point charges (N); k = electrostatic constant (1/4πε0 in SI) (N m^2 C^-2); q_1,q_2 = point charges (C); r = separation between charges (m)

### Coulomb's law (vector)

F_12 = (1 / (4 pi epsilon_0)) * (q1 q2 / r_{21}^2) * rhat_{21}

where F_{12} = force on charge 2 due to charge 1 (vector) (N); epsilon_0 = permittivity of free space (N^-1 m^-2 C^2); r_{21}, \hat{r}_{21} = vector from 1 to 2 and its unit vector (m, dimensionless); q_1,q_2 = point charges (C)

### Electric field of a point charge

E(r) = (1 / (4 pi epsilon_0)) * (Q / r^2) * rhat

where E(r) = electric field at position r (N C^-1); Q = source point charge at the origin (C); r, \hat{r} = distance from origin and unit vector from origin to field point (m, dimensionless)

### Force on a charge in an electric field

$F(r) = q\,E(r)$

where F = Force on the test charge (N); q = Test charge (C); E = Electric field at position r (N C^-1)

### Electric field by superposition

$E(r) = E1(r) + E2(r) + 2 + En(r)$

where E(r) = Net electric field at r (N C^-1)

### Electric flux through an area element

$dPhi = E \cdot dS = E\,dS \cos theta$

where dPhi = Electric flux through the area element (N C^-1 m^2); E = Electric field (N C^-1); dS = Area element (vector) (m^2); theta = Angle between E and the area normal

### Dipole moment

p = q \u00d7 2 a

where p = Dipole moment vector (C m); q = Magnitude of one charge (C); 2a = Separation between charges (m)

### Gauss's law (integral)

Integral over closed surface of E dot dS = q_enclosed / epsilon_0

where E = electric field (N C^-1); dS = vector area element (outward for closed surface) (m^2); q_enclosed = total charge enclosed by surface S (C); epsilon_0 = permittivity of free space (F m^-1)

### Flux through area element

$df = E \cdot dS$

where E = electric field (N C^-1); dS = vector area element (m^2)

### Field of infinite line charge

E = lambda / (2 pi epsilon_0 r) radial

where lambda = linear charge density (C m^-1); r = radial distance from wire (m)

### Field of infinite plane sheet

E = sigma / (2 epsilon_0) normal to plane

where sigma = surface charge density (C m^-2)

### Field of spherical shell (outside)

E = q/(4 pi epsilon_0 r^2) radial for r>R; E=0 inside

where q = total charge on shell (C); r = distance from centre (m); R = shell radius (m)