

## **N. Argomenti di Fisica Classica**

- 1 Legge di conservazione dell'energia nella meccanica classica
- 2 Legge di conservazione del momento angolare in meccanica classica
- 3 Legge di conservazione della quantità di moto in meccanica classica
- 4 La legge di gravitazione universale
- 5 Il principio di inerzia e le leggi di Newton
- 6 Relazione tra le leggi Keplero e le leggi di Newton
- 7 Effetti meccanici osservabili della rotazione della Terra
- 8 Forze apparenti in meccanica classica
- 9 Il moto di puro rotolamento e sue applicazioni
- 10 Oscillatori meccanici
- 11 La risonanza in meccanica
- 12 Definizione e ruolo fisico del momento d'inerzia di un corpo esteso
- 13 Equazioni cardinali della meccanica dei sistemi di punti materiali
- 14 Centro di massa: definizione e ruolo svolto nella dinamica di un sistema meccanico
- 15 Accelerazione e forza di Coriolis
- 16 "Gravità zero" nei sistemi di riferimento in caduta libera o orbitanti
- 17 Formulazione hamiltoniana della meccanica classica
- 18 Formulazione lagrangiana della meccanica classica
- 19 Fenomeni elastici in meccanica
- 20 Il moto in presenza di forze centrali
- 21 Onde meccaniche elastiche
- 22 Onde stazionarie
- 23 Le forze di attrito (resistenza del mezzo, attrito radente, attrito volvente, e.m.)
- 24 Urti e leggi di conservazione in meccanica classica
- 25 Oscillatore armonico forzato e risonanza

## **Classical Physics items**

- The law of conservation of energy in classical mechanics
- The law of conservation of angular momentum in classical mechanics
- The law of conservation of linear momentum in classical mechanics
- The universal law of gravitation
- The inertia principle and the Newton's laws
- Relation between Keplero's laws and Newton's laws
- Observable mechanical effects of Earth rotation
- Inertial forces in classical mechanics
- The true rolling motion and its applications
- Mechanical oscillators
- The resonance phenomenon in mechanics
- Definition and physical meaning of the inertial moment of an extended body
- Cardinal laws of the mechanics of systems of material points
- Center of mass: definition and role in the dynamics of a mechanical system
- Coriolis's acceleration and force
- "Null gravity" in free falling and orbiting reference systems
- Hamiltonian formulation of classical mechanics
- Lagrangian formulation of classical mechanics
- Elastic phenomena in mechanics
- The motion in case of central forces
- Elastic mechanical waves
- Stationary waves
- Friction forces (medium resistance, sliding friction, rolling friction, e.m.)
- Collisions and conservation laws in classical mechanics
- Forced harmonic oscillator and resonance

26	Sistemi di riferimento inerziali e non inerziali	Inertial and non-inertial reference frames
27	Gli urti in fisica	Collisions in physics
28	L'interazione a due corpi (e sue estensioni) in meccanica classica	The two-body interaction in classical mechanics
29	Il moto pendolare in fisica	The pendulum in physics
30	Fenomeni elastici e legge di Hooke	Elastic phenomena and the Hooke law
31	Concetto di fluido e grandezze caratteristiche associate	The concept of fluid and related physical quantities
32	Il principio dell'idrostatica e sue applicazioni	The hydrostatic principle and its applications
33	La spinta di Archimede e sue applicazioni	The Archimede's law and its applications
34	Teorema di Bernoulli e sue applicazioni	The Bernoulli law and its applications
35	La dilatazione termica	The thermal dilatation
36	La prima legge della termodinamica	The first law of thermodynamics
37	La seconda legge della termodinamica	The second law of thermodynamics
38	Il concetto di entropia	The concept of entropy
39	La temperatura: definizione empirica, termodinamica e microscopica	The definitions of temperature: empirical, thermodynamical and microscopical
40	La capacità termica e il calore specifico	The heat capacity
41	Le forme di scambio di calore	The different way of exchanging heat
42	Le trasformazioni del gas ideale	The transformations of the ideal gas
43	Cicli termodinamici e motori termici	Thermodynamic cycles and thermal engines
44	Macchine termiche, frigorifere e limitazioni termodinamiche delle loro prestazioni	Thermal machines, refrigerators and thermodynamic limits to their performances
45	Equazione di stato dei gas ideali	The equation of state of the ideal gas
46	Transizioni di fase e calore latente	Phase transitions and latent heat
47	Inversione temporale, reversibilità e irreversibilità dei fenomeni meccanici/termodinamici	Temporal inversion, reversibility and irreversibility of mechanical/thermodynamic phenomena
48	Il ciclo di Carnot	The Carnot's cycle
49	L'energia interna dei sistemi termodinamici	The internal energy of the thermodynamic systems
50	I calori specifici dei gas ideali	The heat capacities of the ideal gas
51	Equazioni fondamentali del magnetismo	Fundamental laws of magnetism
52	Energia elettrostatica ed energia magnetica	Electrostatic energy and magnetic energy

53	Potenziale elettrostatico e sue applicazioni	The electrostatic potential and its applications
54	Induzione elettromagnetica e sue applicazioni	Electromagnetic induction and its applications
55	Proprietà dei materiali dielettrici	Properties of dielectric materials
56	Proprietà dei materiali magnetici	Properties of magnetic materials
57	Legge di conservazione dell'energia in elettromagnetismo	The conservation of energy in electromagnetism
58	Proprietà generali delle onde elettromagnetiche nel vuoto	General properties of electromagnetic waves in empty space
59	Polarizzazione delle onde	The polarization of waves
60	Dispersione delle onde e sue conseguenze	The dispersion of waves and its consequences
61	Basi elettromagnetiche dei fenomeni di riflessione e rifrazione della luce	Electromagnetic basis of reflection and refraction phenomena
62	L'interferenza delle onde elettromagnetiche	The interference of the electromagnetic waves
63	La diffrazione delle onde elettromagnetiche	The diffraction of the electromagnetic waves
64	Legge di Faraday-Neumann e sue applicazioni	The Faraday-Neumann law and its applications
65	Legge di Ampère-Maxwell e sue applicazioni	The Ampère-Maxwell law and its applications
66	Irraggiamento di onde e.m. da cariche accelerate	Radiation of electromagnetic waves by accelerated charges
67	Le onde elettromagnetiche: derivazione, velocità di propagazione ed evidenza sperimentale	Electromagnetic waves: derivation, speed and experimental evidence
68	Quantità di moto del campo elettromagnetico	The linear momentum of the electromagnetic field
69	I potenziali elettrodinamici	The electrodynamical potentials
70	Le leggi di Ohm	The Ohm's laws
71	Energia del campo elettromagnetico	Energy of the electromagnetic field
72	Le leggi di Laplace del magnetismo e loro applicazioni	The Laplace's laws on magnetism and its applications
73	Le varie forme di corrente elettrica	The different forms of electrical current
74	Conduttori e condensatori in elettrostatica	Conductors and capacitors in electrostatics
75	I principi di Fermat e di Huygens e loro applicazioni	The principles of Fermat and Huygens and their applications
76	Metodi risolutivi in elettrostatica	Methods of solving problems in electrostatics
77	Diffrazione in ottica	Diffraction in optics
78	Velocità di fase e velocità di gruppo	Phase and group velocity

- 79 Effetto Hall e sue applicazioni
- 80 La legge di Coulomb e concetto di campo elettrico
- 81 La legge di Biot-Savart e concetto di campo magnetico
- 82 La forza di Lorentz e sue applicazioni
- 83 Azioni magnetiche sui circuiti percorsi da corrente
- 84 Dipolo magnetico in campo magnetico esterno
- 85 La legge di conservazione della carica elettrica

- The Hall effect and its applications
- The Coulomb law and the concept of electric field
- The Biot-Savart law and the concept of magnetic field
- The Lorentz force and its applications
- Magnetical actions on circuits with flowing current
- The magnetic dipole in an external magnetic field
- The conservation law of the electric charge

## N. Argomenti di Fisica Sperimentale

- 1 La distribuzione di Poisson: origine, proprietà e applicazioni
- 2 La distribuzione di Bernoulli: origine, proprietà e applicazioni
- 3 La distribuzione esponenziale: origine, proprietà e applicazioni
- 4 La distribuzione di Gauss: origine, proprietà e applicazioni
- 5 Il test del Chi<sup>2</sup>
- 6 Il teorema del limite centrale e sue applicazioni nell'analisi dei dati
- 7 Il metodo della massima verosimiglianza per la stima dei parametri di una distribuzione statistica
- 8 Dipendenza stocastica, covarianze e correlazione lineare
- 9 Interpolazione ed estrapolazione di dati misurati
- 10 Concetto di probabilità e sue applicazioni nell'analisi dei dati
- 11 Metodo dei minimi quadrati per la stima dei parametri di una dipendenza funzionale
- 12 Test di compatibilità fra grandezze misurate (e.g. medie, varianze, pdf, ...)
- 13 Concetto di intervallo di confidenza in una misura
- 14 Principali statistiche campionarie e loro distribuzioni
- 15 Differenze fra probabilità e statistica nell'analisi dei dati
- 16 Fluttuazioni statistiche e rigetto delle misure
- 17 Accuratezza e precisione nelle misure
- 18 Rapporto segnale-rumore in una misura
- 19 Definizione operativa di una grandezza fisica: il concetto e un esempio
- 20 Concetto di sensibilità di uno strumento di misura ed incertezza associata

## Experimental Physics items

- Poisson's distribution: origin, properties and applications
- Bernoulli's distribution: origin, properties and applications
- Exponential distribution: origin, properties and applications
- Gaussian distribution: origin, properties and applications
- The Chi<sup>2</sup> test
- The central limit theorem and its application to data analysis
- Maximum Likelihood Method for the parameter estimation of a statistical distribution
- Stochastic dependence, co-variance and linear correlation
- Interpolation and extrapolation of measured data
- The concept of probability and its applications to data analysis
- The least square method for parameter estimation of a functional relation
- Compatibility test between measured quantities (e.g. mean, variance...)
- The concept of confidence interval in a measurement
- Main sample statistics and their distributions
- The difference between probability and statistics in data analysis
- Statistical fluctuations and rejection of measurements
- Accuracy and precision in measurements
- Signal to noise ratio
- Operational definition of physical quantities (with one example)
- Sensitivity of a device and related uncertainty

21	Forma omogenea delle leggi fisiche e analisi dimensionale	Homogeneity of the physical law and dimensional analysis
22	Incertezze statistiche e sistematiche	Statistical and systematic uncertainties
23	Modellizzazione dei dati sperimentali	Modelling experimental data
24	Prontezza di uno strumento e sua misura (esempio a scelta del candidato)	The readiness of a device and its measurement
25	Filtri e loro effetto sui dati	Filtering data
26	Esperimenti di Joule in termodinamica	Joule experiments in thermodynamics
27	Misure dell'accelerazione di gravità	Measurements of the gravitational acceleration
28	Il pendolo di torsione per la misura delle leggi fondamentali	The torsion pendulum to determine the fundamental laws
29	I diversi tipi di termometri	Different types of thermometers
30	Metodi di misura delle distanze	Methods for measuring distances
31	Metodi di misura dei tempi	Methods for measuring time
32	Metodi di misura delle masse	Methods for measuring masses
33	Verifiche sperimentali dell'equivalenza fra massa inerziale e gravitazionale	Experimental assessments of the equivalence between inertial and gravitational masses
34	Definizione calorimetrica della quantità di calore	Calorimetric definition of heat
35	Strumenti per la misura delle grandezze elettriche stazionarie	Devices for measuring stationary electrical quantities
36	Strumenti per la misura delle grandezze elettriche non stazionarie	Devices for measuring variable electrical quantities
37	Misure di campi elettrici e magnetici	Measurement of electric and magnetic fields
38	Metodi di misura della resistenza elettrica	Methods of measuring the electrical resistance
39	Elementi parassiti in regime sinusoidale	Parasitic elements in sinusoidal regime
40	Circuiti oscillanti	Oscillating circuits
41	Caratteristica tensione corrente di un bipolo elettrico	Current-voltage characteristics of an electrical bipole
42	Principi di Kirchhoff e analisi dei circuiti elettrici	Kirchhoff's law and network analysis
43	Misura della quantità di moto di una particella carica: tecniche sperimentali e loro limiti	Measurement of the linear momentum of a charged particle: experimental techniques and limitations
44	Il transistor BJT: principio di funzionamento e applicazioni	BJT transistor: principles and applications
45	Il diodo a giunzione: principio di funzionamento e applicazioni	Junction diode: principles and applications
46	Il trasformatore	The transformer
47	Concetto generale di impedenza e applicazione al regime sinusoidale	The general concept of impedance and application to the sinusoidal regime
48	Filtri passa basso/alto ed esempi elementari	Low/High pass filters and elementary examples
49	Circuiti integratori e derivatori ed esempi elementari	Integrator/Derivator circuits and elementary examples
50	Circuiti selettori di bande ed esempi elementari	Circuits selecting frequency interval and elementary examples
51	Circuiti risonanti elementari	Elementary resonant circuits
52	Circuiti raddrizzatori ed esempi elementari	Rectifier circuits and elementary examples
53	Circuiti amplificatori ed esempi elementari	Amplifier circuits and elementary examples

54	Acceleratori di particelle e differenze tra il caso lineare e circolare	Particle accelerators and differences between fixed target and collider modes
55	Misure con strumentazione ottica	Measurements with optical instrumentation
56	Esperimento di Millikan per la misura della carica elementare	Millikan's experiment to measure the elementary charge
57	Misura del rapporto tra carica e massa di una particella	Measurement of the charge over mass ratio for a particle
58	Misura della velocità della luce: descrivere un esempio di esperimento di interesse storico oppure attuale	Measurements of the speed of light: choose an historical or current example
59	Messa in evidenza sperimentale della relazione tra elettricità e magnetismo (e.g Oersted, Faraday)	Experimental evidence between electricity and magnetism (e.g Oersted, Faraday)
60	Basi sperimentali della natura ondulatoria della luce	Experimental basis of the wave nature of light
61	Generatori elettrici	Electrical generators
62	Energetica dei circuiti in regime stazionario	Energy of stationary electrical circuits
63	Energetica dei circuiti in regime sinusoidale	Energy of sinusoidal electrical circuits
64	La trasmissione dei segnali elettrici	Transmission of electrical signals
65	Teoremi di Thévenin e Norton e loro applicazioni	Theorems of Thévenin and Norton and their applications
66	Principali segnali elettrici in regime quasi-stazionario e loro caratteristiche	Main electrical signals in quasi-stationary regime and their characteristics
67	Il reticolo di diffrazione	The diffraction grating
68	L'esperienza di Young	Young's experiment
69	Il prisma per la misura dell'indice di rifrazione	The prism to measure the refraction index
70	Tecniche sperimentali per la spettroscopia della luce emessa o trasmessa	Experimental techniques for light spectroscopy (emission and transmission)
71	Tecniche sperimentali per la misura di energia (il candidato scelga l'intervallo di energia che si considera)	Experimental techniques for energy measurement (the candidate should fix the interval of interest)
72	Rivelatori di particelle cariche: un esempio di una tecnologia e principio di funzionamento	Detectors for charged particles: an example and its functioning principle
73	Rivelatori di fotoni: un esempio di una tecnologia e principio di funzionamento	Detectors for photons: an example and its functioning principle
74	Il concetto di sezione d'urto e la sua misura	Concept of cross section and its measurement
75	Misura di tempo di volo di particelle cariche. Un esempio di implementazione	Measurement of time of flight for charged particles
76	La rivelazione dei raggi cosmici e il ruolo nello sviluppo della fisica	Detection of cosmic rays and its role in the development of physics
77	Discutere un esempio di esperimento in cui l'interazione debole gioca un ruolo cruciale	Describe an experiment in which the weak interaction plays a crucial role
78	L'effetto Cerenkov: caratteristiche e applicazioni	Cerenkov effect: characteristics and applications
79	Fotosensori e fotorivelatori: principi di funzionamento e un esempio di applicazione	Photo-sensors and photo-detectors: operating principles and omn application example
80	Basi sperimentali della MQ ( e.g. esperimenti Davisson-Germer, Stern-Gerlach)	Experimental basis of QM (e.g. Davisson-Germer, Stern-Gerlach)
81	Basi sperimentali della struttura atomica (e.g. esperimento Geiger-Marsden-Rutherford, Franck-Hertz)	Experimental basis of atomic structure (e.g. Geiger-Marsden-Rutherford, Franck-Hertz)
82	Effetto fotoelettrico: fenomenologia e una possibile applicazione	The photoelectric effect: phenomenology and a potential application
83	Laser: principi di funzionamento, di implementazioni e un esempio di applicazione	Laser: principle of functioning and applications
84	Esperimento di Michelson-Morley	Michelson-Morley experiment

## N. Argomenti di Fisica Moderna

- 1 I fenomeni della dilatazione dei tempi in relatività speciale
- 2 I fenomeni della contrazione delle lunghezze in relatività speciale
- 3 I postulati della Relatività Speciale e alcune conseguenze fisiche
- 4 Le trasformazioni di Lorentz di coordinate e velocità
- 5 Energia e quantità di moto relativistiche
- 6 Il cono di luce in relatività speciale: passato, futuro e altrove di un evento
- 7 Equivalenza massa-energia in relatività ristretta
- 8 Particelle ultrarelativistiche: proprietà ed esempi
- 9 Quadrivettori in relatività ristretta
- 10 Struttura delle trasformazioni di Lorentz
- 11 Effetto Doppler relativistico e sue applicazioni
- 12 Concetto di simultaneità degli eventi in relatività speciale
- 13 Trasformazioni relativistiche del campo elettromagnetico
- 14 Covarianza delle leggi dell'elettromagnetismo
- 15 La costante di Planck
- 16 Teorema di equipartizione dell'energia e sue applicazioni
- 17 Calori specifici in meccanica quantistica
- 18 L'atomo di Rutherford-Bohr
- 19 Emissione termica di corpo nero
- 20 Effetto fotoelettrico e interpretazione corpuscolare della radiazione
- 21 Effetto Compton
- 22 Raggi X e loro applicazioni
- 23 Fenomenologia dell'interazione radiazione-materia e il laser
- 24 Definizione e applicazioni del libero cammino medio
- 25 Le leggi sull'irraggiamento di Stefan-Boltzmann e di Wien
- 26 Il dualismo onda-particella
- 27 Equazione di Schroedinger
- 28 Meccanica quantistica in 1D: la buca di potenziale

## Modern Physics Items

- The time dilation phenomenon in special relativity
- The length contraction phenomenon in special relativity
- The postulates of special relativity and physical consequences
- The Lorentz transformations of coordinates and velocities
- Relativistic energy and momentum
- The light cone in special relativity: past, future and elsewhere
- The equivalence of mass and energy in special relativity
- Ultra-relativistic particles: properties and examples
- Four vectors in special relativity
- Structure of the Lorentz transformations
- The relativistic Doppler effect and its application
- The concept of simultaneity in special relativity
- Relativistic transformation of the electromagnetic field
- Covariant formulation of the laws of electromagnetism
- Planck constant
- Theorem of energy equipartition and its applications
- Specific heat in quantum mechanics
- Rutherford-Bohr model of the atom
- Black body radiation
- Photoelectric effect and the corpuscular interpretation of radiation
- Compton effect
- X rays and their applications
- Phenomenology of the matter-radiation interaction
- Definition and application of the mean free path
- The laws of radiation of Wien and Stefan-Boltzmann
- The particle-wave dualism
- The Schroedinger equation
- Quantum Mechanics in 1D: the potential hole

29	Meccanica quantistica in 1D: il gradino di potenziale e l'effetto tunnel	Quantum Mechanics in 1D: the potential barrier and the tunnel effect
30	Meccanica quantistica in 1D: l'oscillatore armonico	Quantum Mechanics in 1D: the harmonic oscillator
31	Sistemi completi di osservabili, basi comuni	Complete systems of observables, common bases
32	Il processo di misura in meccanica quantistica	The measurement process in quantum mechanics
33	Operatore densità, stati puri, miscele	The density operator, pure states and mixture of states
34	Teorie delle perturbazioni indipendenti dal tempo in meccanica quantistica	Time independent perturbation theory in quantum mechanics
35	Teorie delle perturbazioni dipendenti dal tempo in meccanica quantistica	Time dependent perturbation theory in quantum mechanics
36	Correzioni al modello coulombiano nell'atomo di idrogeno	Corrections to the Coulomb potential in the hydrogen atom
37	Metodi variazionali in meccanica quantistica	Variational models in quantum mechanics
38	Composizione dei momenti angolari in meccanica quantistica	Angular momenta composition in quantum mechanics
39	Problemi con potenziali centrali in meccanica quantistica	Problems with central potentials in quantum mechanics
40	Il momento angolare in meccanica quantistica	The angular momentum in quantum mechanics
41	Incompatibilità di misure quantistiche	Incompatibility of quantum measurements
42	Limite classico della meccanica quantistica	The classical limit of quantum mechanics
43	La trasformata di Fourier e sua applicazione in meccanica quantistica	Fourier transform and its application in quantum mechanics
44	Lo spin	The spin
45	Principio di esclusione di Pauli ed applicazioni	Pauli exclusion principle and its applications
46	Il potenziale coulombiano in meccanica quantistica	Coulomb potential in quantum mechanics
47	Leggi di conservazione in Meccanica Quantistica	The conservation laws in quantum mechanics
48	Particelle identiche e simmetrie di scambio	Identical particles and exchange symmetry
49	Atomo di Idrogeno in meccanica quantistica: spettro energetico	The hydrogen atom in quantum mechanics: the energy spectrum
50	Atomo di Idrogeno in meccanica quantistica: struttura degli orbitali	The hydrogen atom in quantum mechanics: the orbital structure
51	Simmetrie e degenerazione degli stati in meccanica quantistica	Symmetries and degeneration of states in quantum mechanics
52	Il principio di indeterminazione di Heisenberg	The Heisenberg uncertainty principle
53	Osservabili e operatori in meccanica quantistica	Observables and operators in quantum mechanics
54	Bosoni e Fermioni	Bosons and fermions
55	Simmetrie discrete in meccanica quantistica	Discrete symmetries in quantum mechanics
56	Simmetrie continue in meccanica quantistica	Continuous symmetries in quantum mechanics
57	Rappresentazioni di Heisenberg e di Schroedinger della meccanica quantistica	Heisenberg and Schroedinger representations of quantum mechanics
58	Interpretazione statistica della meccanica quantistica	Statistical interpretation of quantum mechanics
59	Statistiche di Bose-Einstein e Fermi-Dirac	Bose-Einstein and Fermi-Dirac statistics
60	Modello quantistico del legame covalente	The quantum model for the covalent bond
61	Teoria quantistica dell'interazione radiazione em - materia (o semi-classica)	Quantum theory of the radiation (em)-matter interaction

62	Atomi a più elettroni	Multi electrons atoms
63	Elettroni in un potenziale periodico. Bande di energia	Electrons in a periodical potential - Energy bands
64	Modello classico della conduzione elettrica e suoi limiti	The classical model of electrical conduction and its limitations
65	Statistica di Maxwell-Boltzmann	The Maxwell-Boltzmann statistics
66	Calori specifici dei gas e dei solidi	The specific heats of gases and solids
67	Metodo autoconsistente di Hartree-Fock	The self-consistent method of Hartree-Fock
68	Assorbimento ed emissione di raggi X	Absorption and emission of X rays
69	Legame ionico	The ionic bond
70	Approssimazione di Born-Oppenheimer per le molecole	The Born-Oppenheimer approximation for the molecules
71	Molecole biatomiche: spettri elettronici, vibrazionali e rotazionali	Bi-atomic molecules: electronic, vibrational and rotational spectra
72	Il nucleo atomico: dimensioni, massa, composizione, energia di legame	The atomic nucleus: scale, mass, composition, and binding energy
73	Fissione spontanea e fissione indotta del nucleo	Spontaneous and induced nuclear fissions
74	Leggi del decadimento radioattivo: alfa, beta, gamma	The laws of radioactive decay: alpha, beta, gamma
75	Reazioni nucleari	Nuclear reactions
76	Fusione termonucleare	The thermonuclear fusion
77	Particelle instabili: misura delle vite medie	Unstable particles: measurement of lifetimes
78	Particelle instabili: misura delle masse invarianti	Unstable particles: measurement of invariant mass
79	Leggi di conservazione nella fisica delle particelle elementari	Conservation laws in elementary particle physics
80	Trasformazioni di parità per le interazioni fondamentali	Parity transformation for the fundamental interactions
81	Il neutrino e le sue proprietà	The neutrino and its properties
82	Esperimenti a bersaglio fisso e collider	Experiments at fixed target or collider
83	Interazione forte e sua fenomenologia	Phenomenology of the strong interaction
84	Interazione debole e sua fenomenologia	Phenomenology of the weak interaction
85	Invarianza di gauge e conservazione della carica elettrica	Gauge invariance and the conservation of electric charge