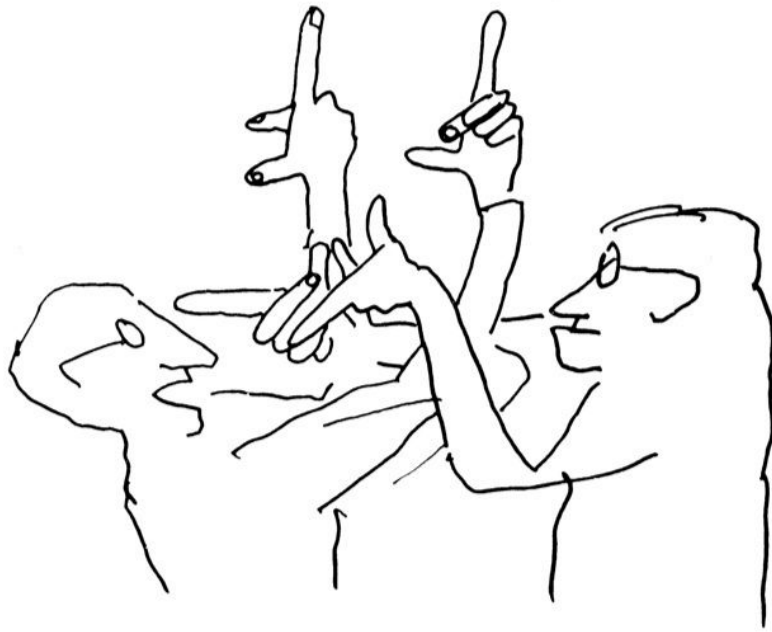


**Physics Education
Laboratory
Lecture 13
Content Knowledge for
Electromagnetism**

Francesco Longo - 20/11/23



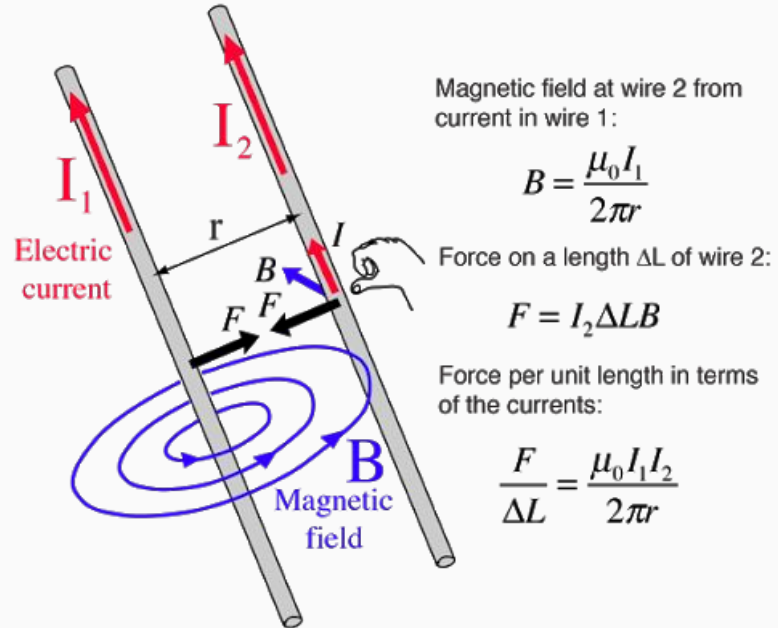


MAGNETIC DISCUSSION

brunoravello

Key concepts in (Electro)-Magnetism

- The magnetic field
- The magnetic dipole
- Forces on charges in motion
- Interaction of B field and currents
- The sources of the magnetic field
- The flux of magnetic field
- The Faraday-Lenz Law
- Electromagnetism
- Alternate currents



Key concepts in Magnetism

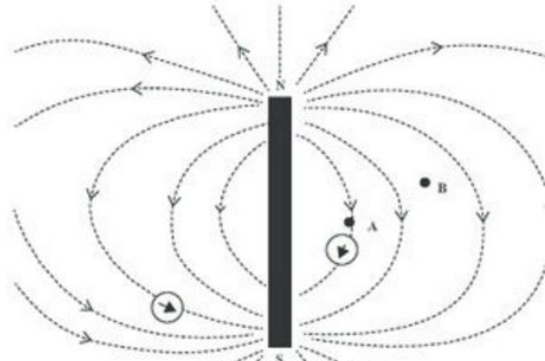
1. The idea of field lines to describe a magnetic field.
2. The idea that relative density of the field lines gives an indication of the strength of the field at various points in the field.
3. The shape of the magnetic field around a bar magnetic.

Key concept in Magnetism

1. that the lines of force show the direction of the force on a unit N pole, but since there is no such thing as a unit N pole (or S pole come to that) the statement is merely a convention to draw the arrows from N to S.

Key concept in Magnetism

2. that the density of the lines of force indicates the strength of the magnetic field. This is only partly true and rather misleading, since the lines of force which I choose to draw are arbitrary. For example on the diagram of the magnet, I chose to put the compass at a particular point, say A, and follow it along to draw that line of force, but I could also have put my compass on point B and drawn another line there.



Key concept in Magnetism

But drawing in more lines does not make the field any stronger. However, it is true that because the same lines of force are denser at the poles than at the sides of the magnet, the field strength at the poles is greater than at the sides. Similarly, because the same lines of force spread out as they leave the poles; the further away from the poles, the weaker the field. The point is that the relative density of the lines of force in a particular field is an indication of whether the field is stronger or weaker at a particular point.

Key concept in electromagnetism

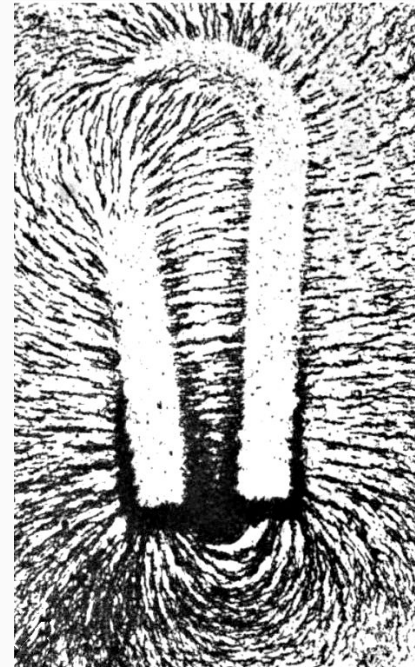
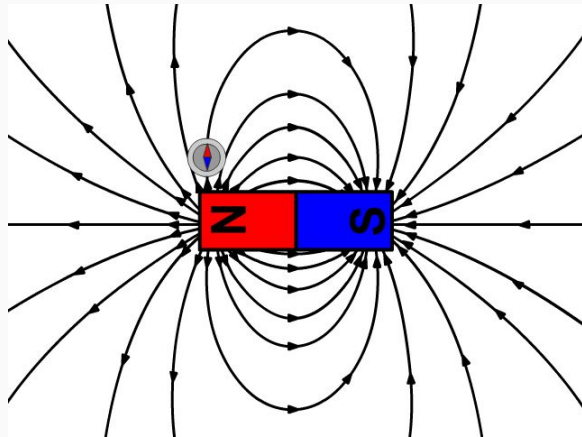


1. A current in a wire creates a magnetic field.
2. The field is in the plane at right angles to the wire, and consists of concentric circles with the wire as the centre.
3. The flux density is proportional to $1/a$, where “a” is the distance from the wire.
4. The direction on the field lines can be remembered by the diagram above.
5. The flux density is proportional to the size of the current.

Flux density \rightarrow B field strength

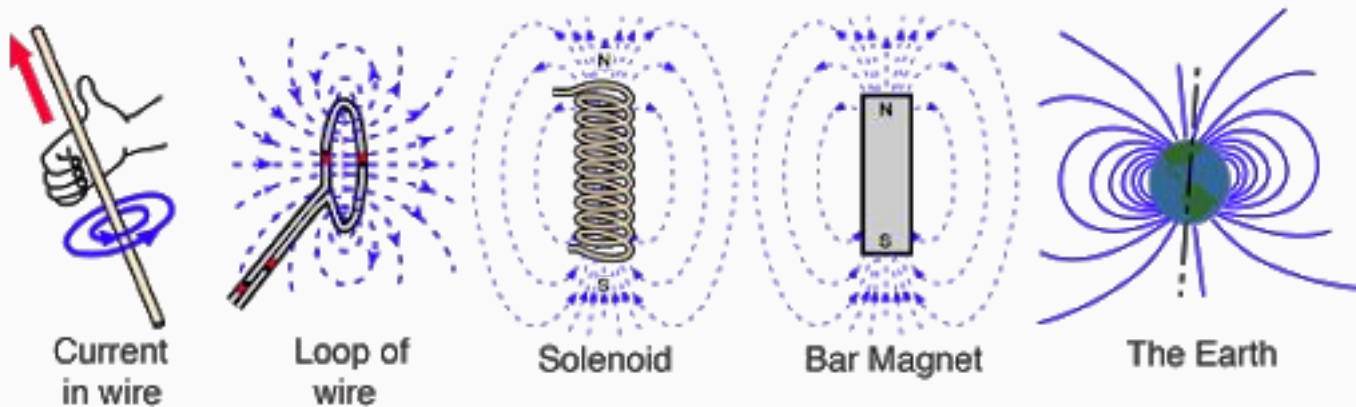
Key concepts in Magnetism

- The magnetic field lines
- The difference with electric field
- Direction of field lines



Key concepts in Magnetism

- Sources of magnetic field

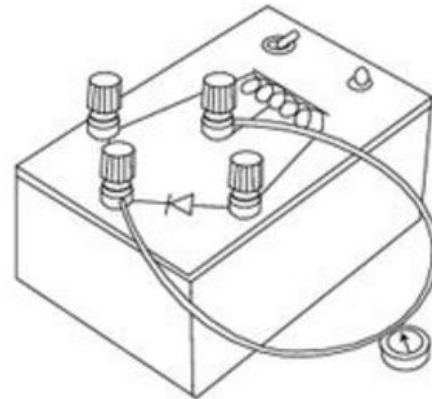
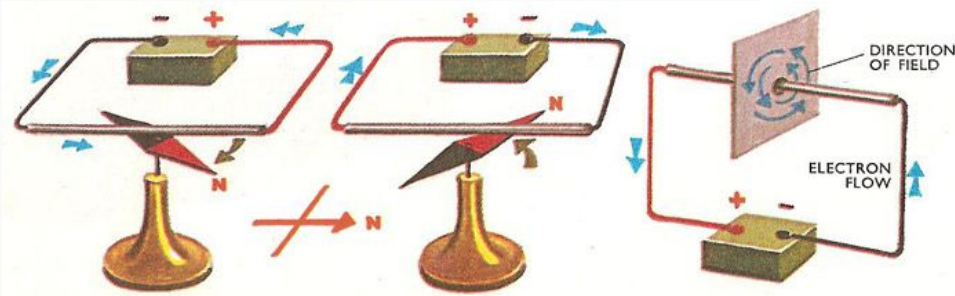


Magnetic Field Sources

Key concepts in Electromagnetism

- Currents generating the B field

It was a Danish physicist, Oersted, in 1820, who first noticed that a compass needle placed near a wire carrying a current, moved; indicating that the current in the wire created a magnetic field.

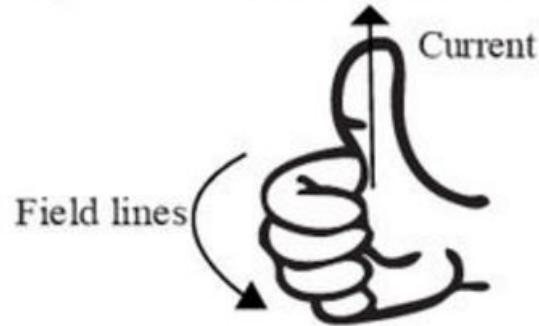


Key concepts in Electromagnetism

- The “right-hand” rule

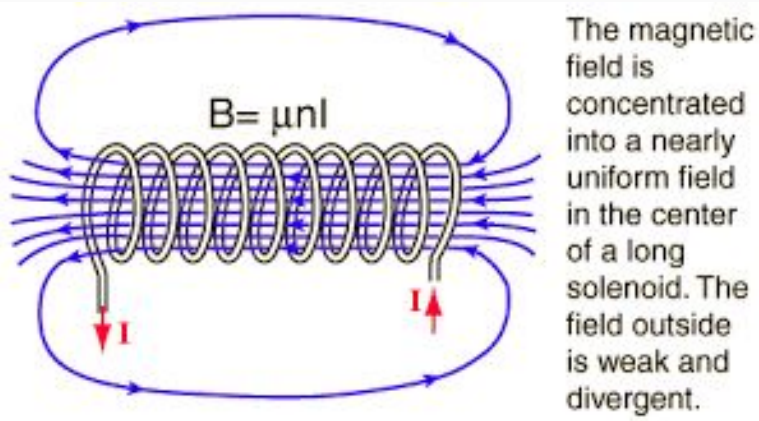
A convenient way to remember the direction of the field lines is to use the right hand as shown:

Help to remember direction of field lines

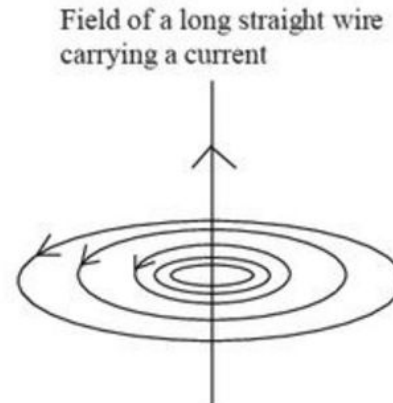


Key concepts in Electromagnetism

- The Biot-Savart law
- The field in the solenoid



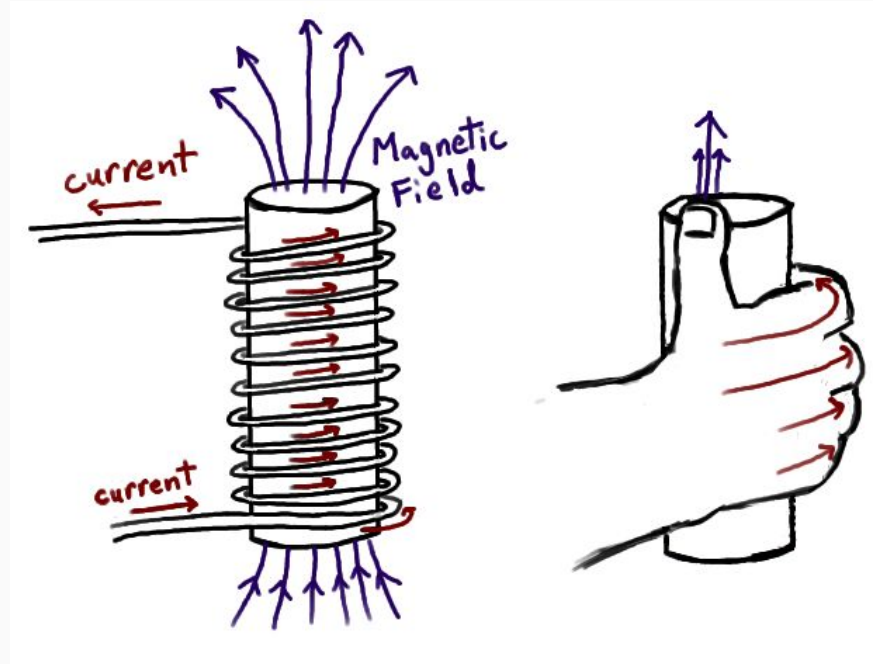
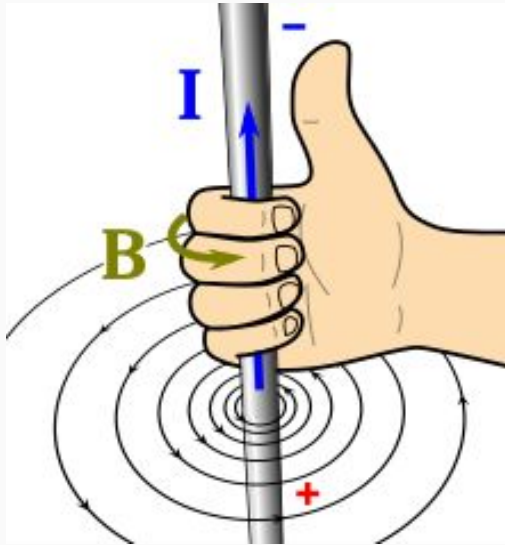
1. The field is in a plane at right angles to the wire.
2. The lines of force are concentric circles with the wire as the centre.



3. The Flux density (field strength) drops off in the ratio $1/a$ where "a" is the distance from the wire.
4. The field lines can be shown as anticlockwise if you are looking at the end of the wire with the conventional current coming towards you.

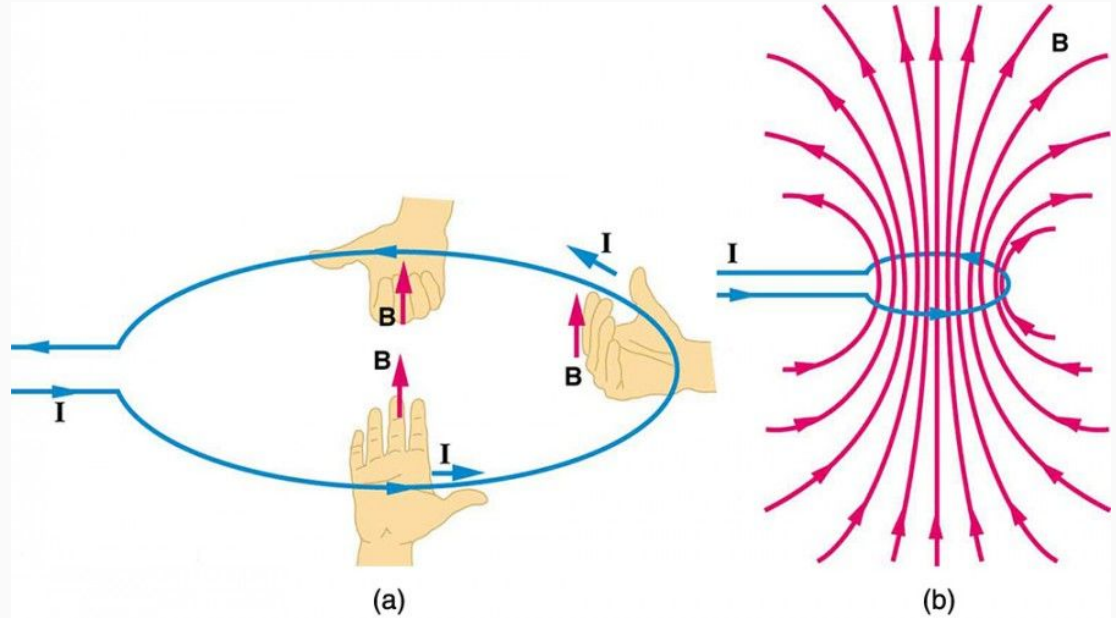
Key concepts in Electromagnetism

- The “right hand” rule



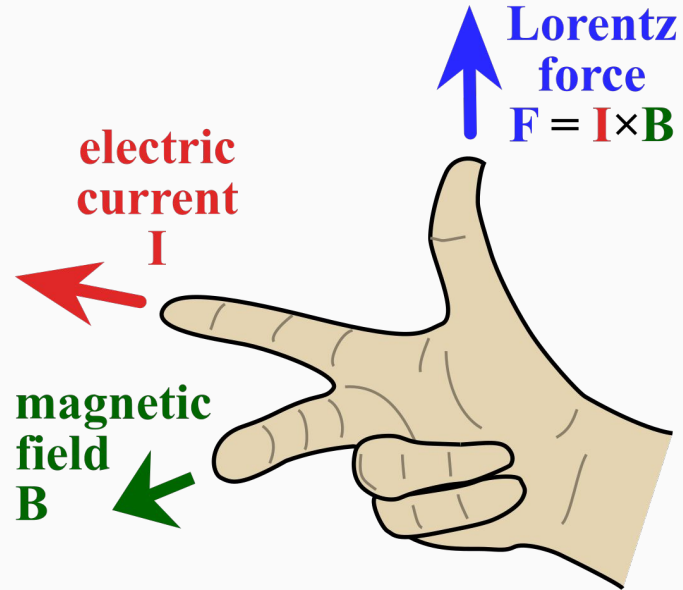
Key concepts in Electromagnetism

- The “right hand” rule



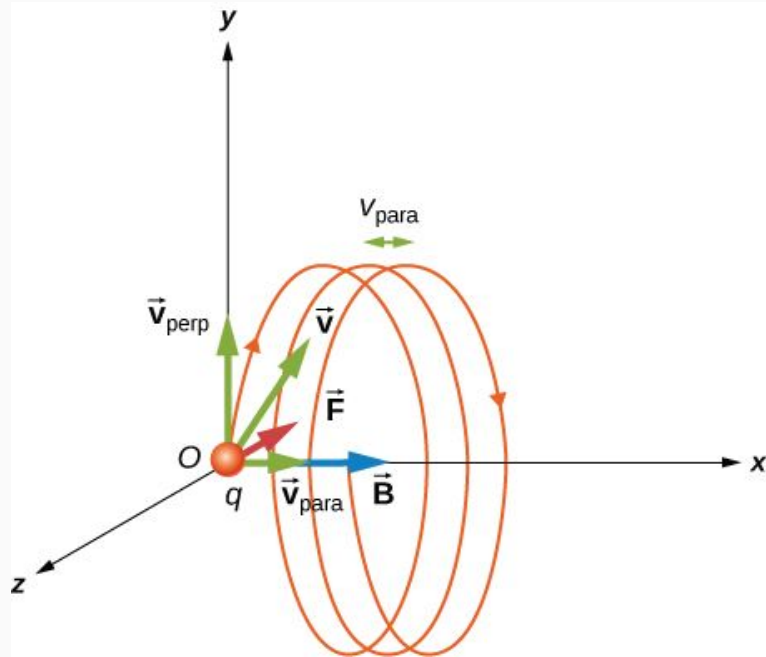
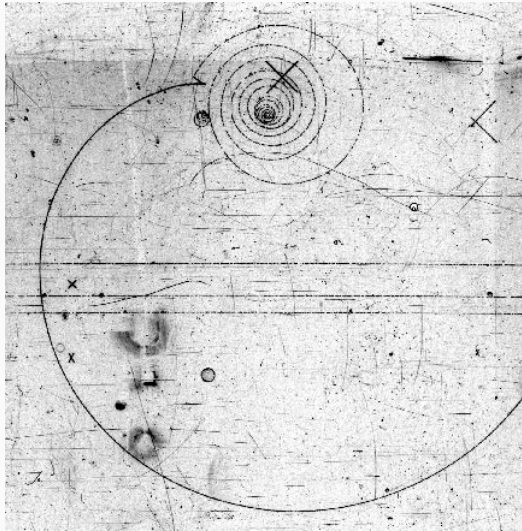
Key concepts in Electromagnetism

- The Lorentz Force



Key concepts in Electromagnetism

- Motion in B fields



Key concepts in Electromagnetism

- Forces on currents

$$\vec{F}_{\text{wire}} = I\vec{l} \times \vec{B}$$

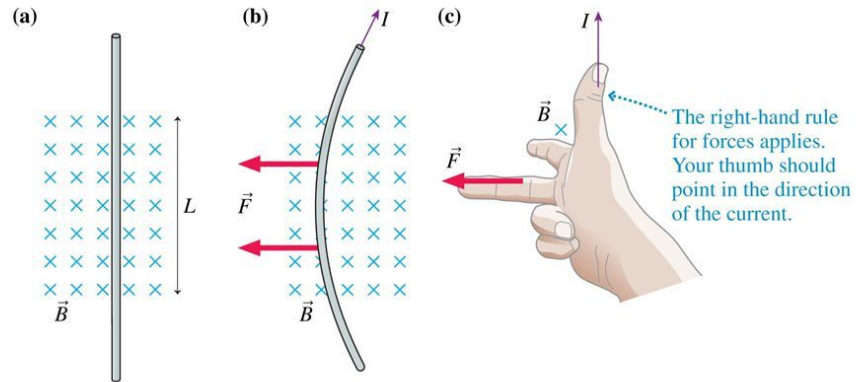
I = current (in Amps)

\vec{B} = magnetic field

\vec{l} = length of wire

(direction is the direction of the current)

Magnetic Fields Exert Forces on Currents



A wire is perpendicular to an externally created magnetic field.

If the wire carries a current, the magnetic field will exert a force on the moving charges, causing a deflection of the wire.

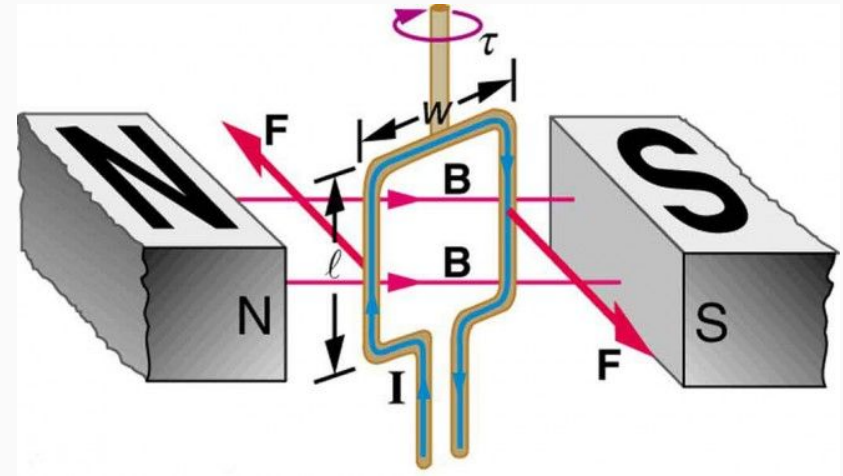
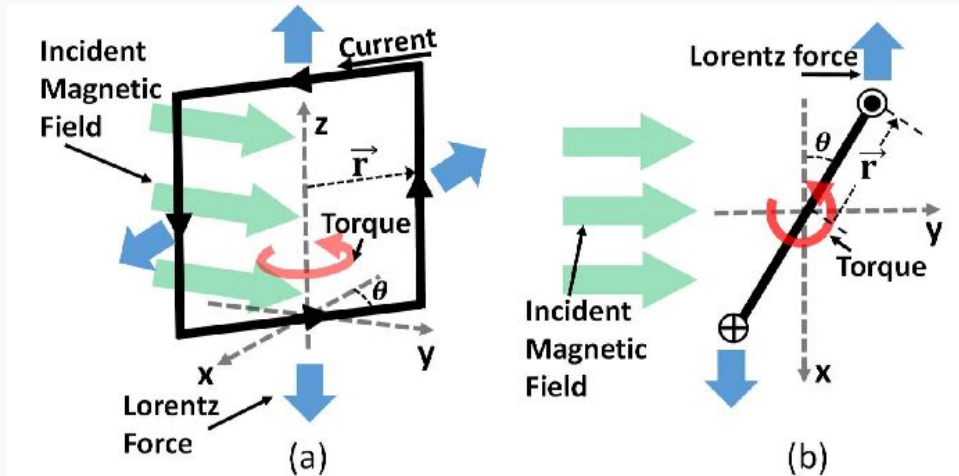
The right-hand rule for forces applies. Your thumb should point in the direction of the current.

$$F_{\text{wire}} = ILB$$

Magnitude of the force on a current segment of length L perpendicular to a magnetic field

Key concepts in Electromagnetism

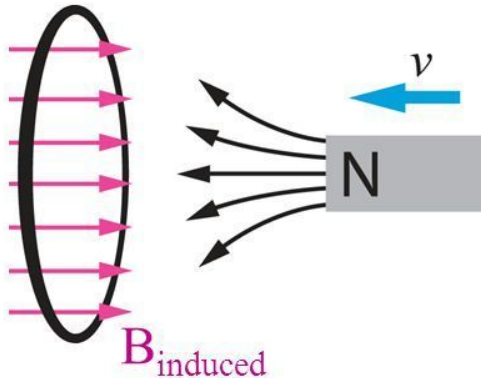
- Torques on loops



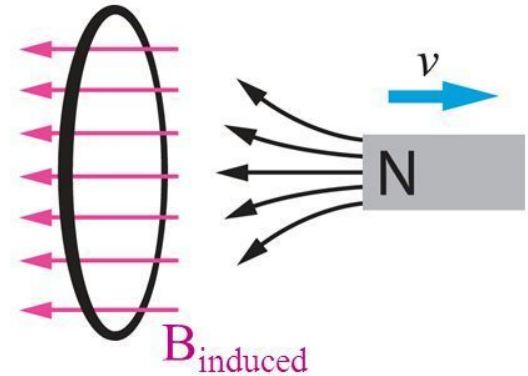
Key concepts in Electromagnetism

- The Faraday - Lenz law

If you try to **increase** the flux through a loop, the induced field will oppose that increase!

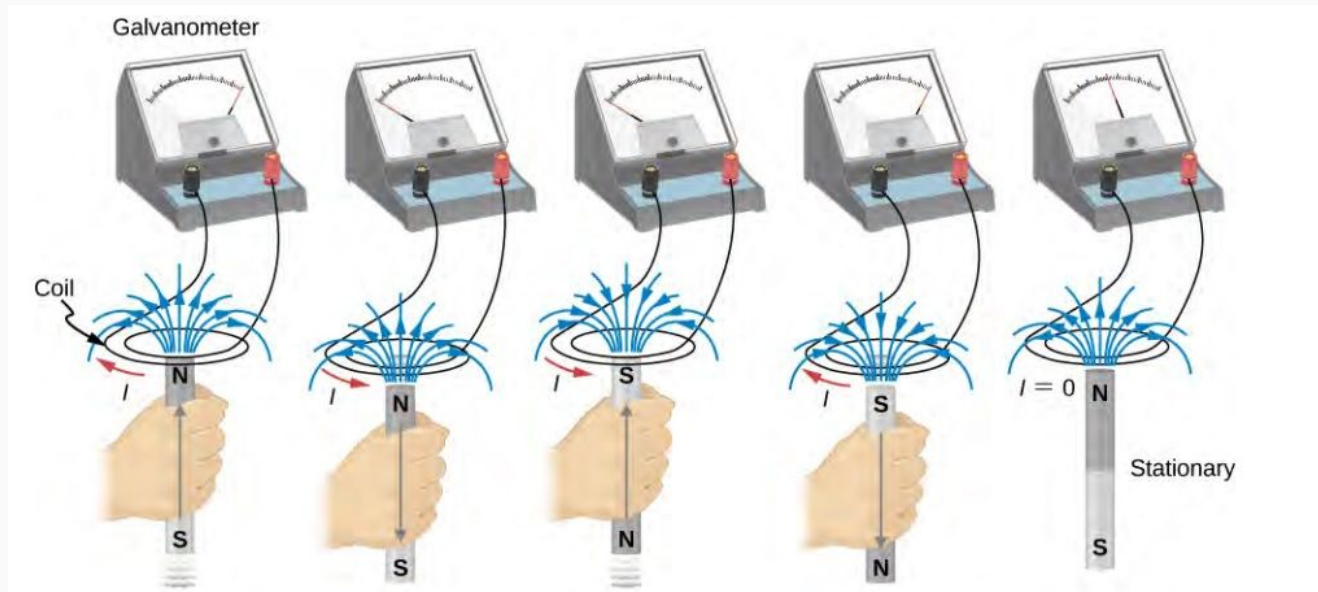


If you try to **decrease** the flux through a loop, the induced field will replace that decrease!



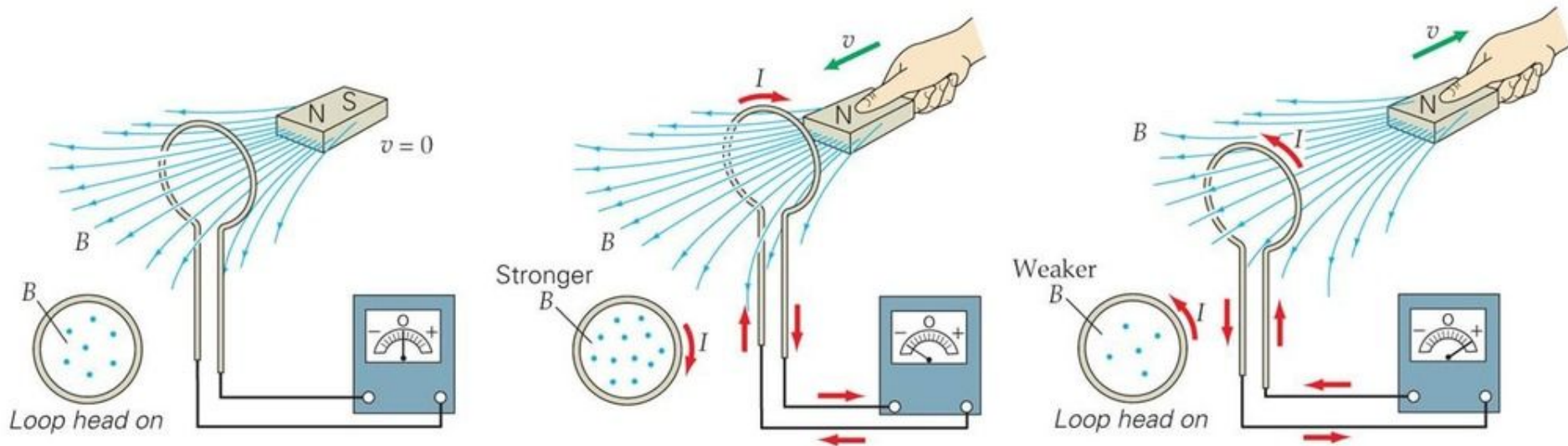
Key concepts in Electromagnetism

- The Faraday - Lenz law



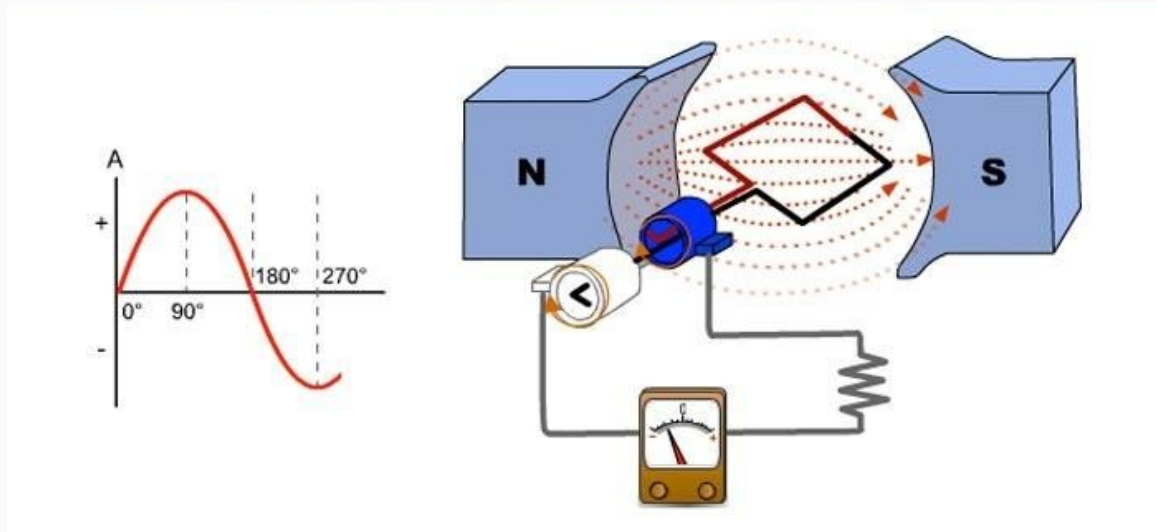
Key concepts in Electromagnetism

- The Faraday - Lenz law



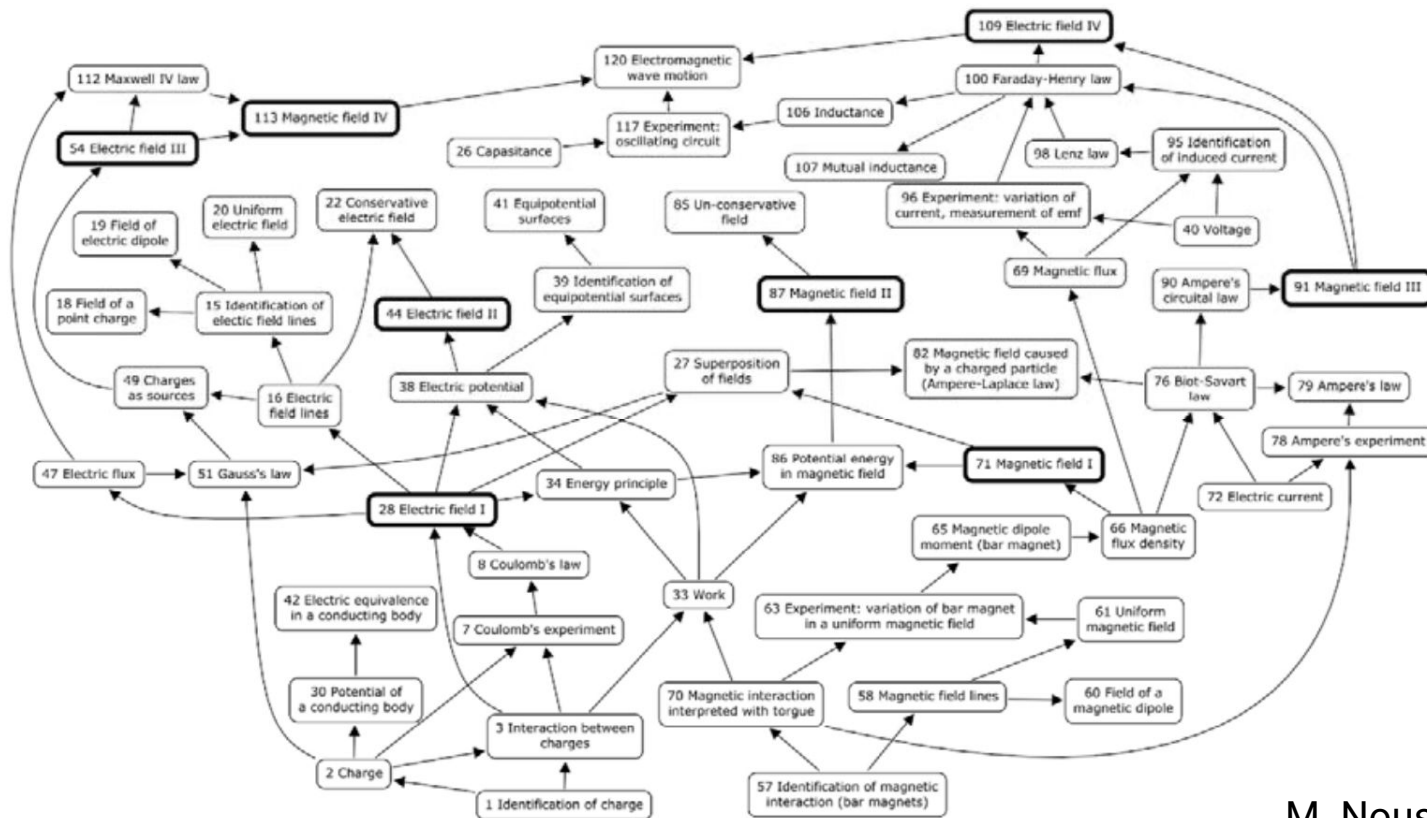
Key concepts in Electromagnetism

- Generation of alternating currents



Some learning objectives for (Electro)Magnetism

- To acquire familiarity with basic magnetic phenomena.
- To develop a dipole model of magnetism, analogous to the charge model of electricity, that allows students to understand and reason about basic magnetic phenomena.
- To learn the magnetic fields due to currents in wires, loops, and solenoids.
- To study the motion of charged particles in magnetic fields.
- To understand the magnetic forces and torques on current loops.
- To connect the theory of electromagnetism to the phenomena of permanent magnets.
- To connect the variation of magnetic flux with Electromotive force
- To understand the alternate currents



M. Nousiainen, 2017

Figure 1. An example of the concept network of 55 nodes made by one pre-service student (redrawn and translated for clarity). The nodes with bolded borders are different facets (force, energy and source facets, I-III respectively) of field concept. Note that fourth facet (dynamic, IV) is also shown but not considered further here.

Table 1. Examples of concepts and other conceptual elements appearing in concept networks and as they are classified as force, energy and sourcebased classes. Only some most central concepts and conceptual elements out of all 121 ones found in the 12 networks are listed.

Force facet	Energy facet	Source facet
Force	Work	Electric charge Q
Coulomb's law	Work done to move a charge	Millikan's experiment
Coulomb's experiment	Energy conservation	Charge distribution
Gravitation law (analogy)	Potential energy V	Gauss's law
Field-line experiment	Electric potential U	Electric flux density D
Electric dipole (force on)	$E = -\text{grad } U$	Electric flux
Point charge (force on)	Equipotential surface (exp.)	Electric current I
Homogeneous field	Voltage	Electric current density
Electric force $F=qE$	Work done to rotate a coil	Magnetic dipole moment
Electrostatic equilibrium	Magnetic potential energy	Ampere and Laplace law
Torque	electromotive force (e.m.f.)	Biot-Savart law
Force/torque between magnets	Power related to induction	Biot-Savart experiment
Ampere's law	B as non-conservative field	Ampere's circuital law
Ampere's experiment	Resonance circuit (exp)	Ampere's circ. law (model)
Lorentz's force	Energy in resonance circuit	Current element

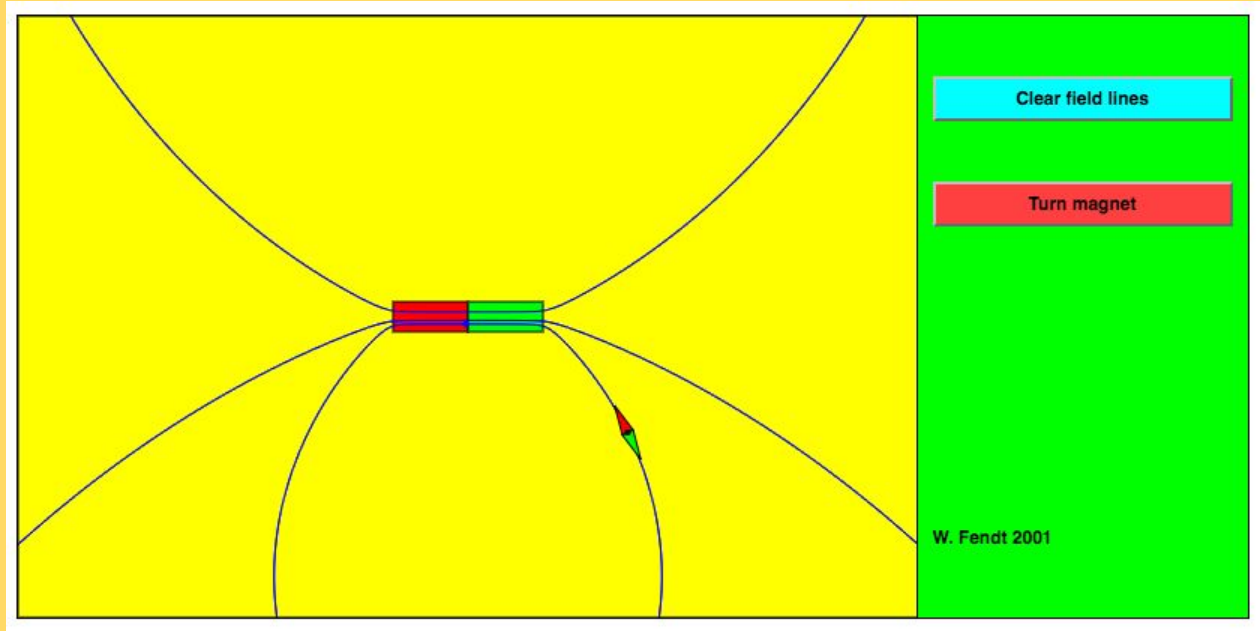
M. Nousiainen, 2017

Misconceptions in Magnetism

- Field lines and magnetic forces
- How to generate a magnetic field in a permanent magnet?
- The right hand rule - it is just a convention ... for the field or for the current?
- The field could be generated by solenoids or magnets only ..
- I is a vector?
- The motions of particles in B field are always/only circular?
- Misconceptions on torques as vectors
- Magnetic flux and variation of magnetic flux in time
- Electromotive force and currents

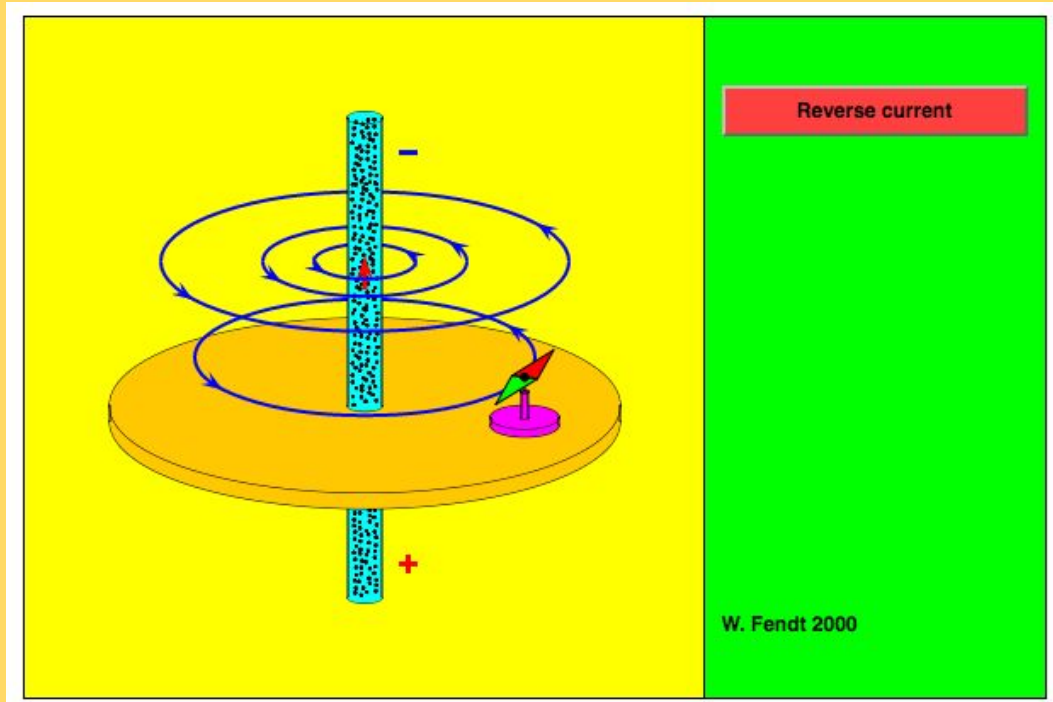
The conceptual representation
using computer based simulations
- inquiry based approach
(Inquiry-based learning with
Interactive Simulation)

Magnetic Field of a Bar Magnet



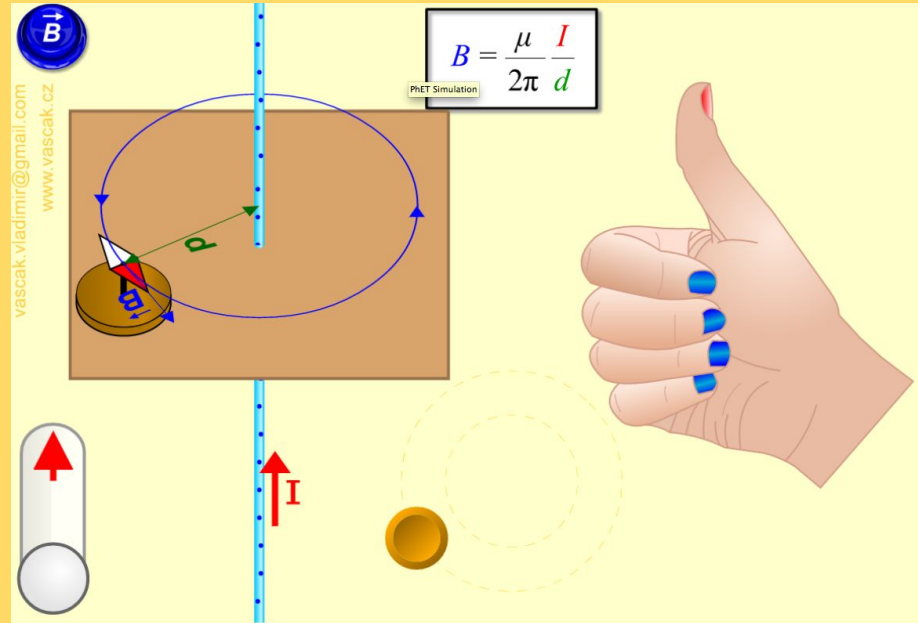
https://www.walter-fendt.de/html5/phen/magneticfieldbar_en.htm

Magnetic Field of a Straight Current-Carrying Wire



https://www.walter-fendt.de/html5/phen/magneticfieldwire_en.htm

Magnetic Field of a Straight Current-Carrying Wire



https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mag_vodic&l=en

FISICA A SCUOLA:

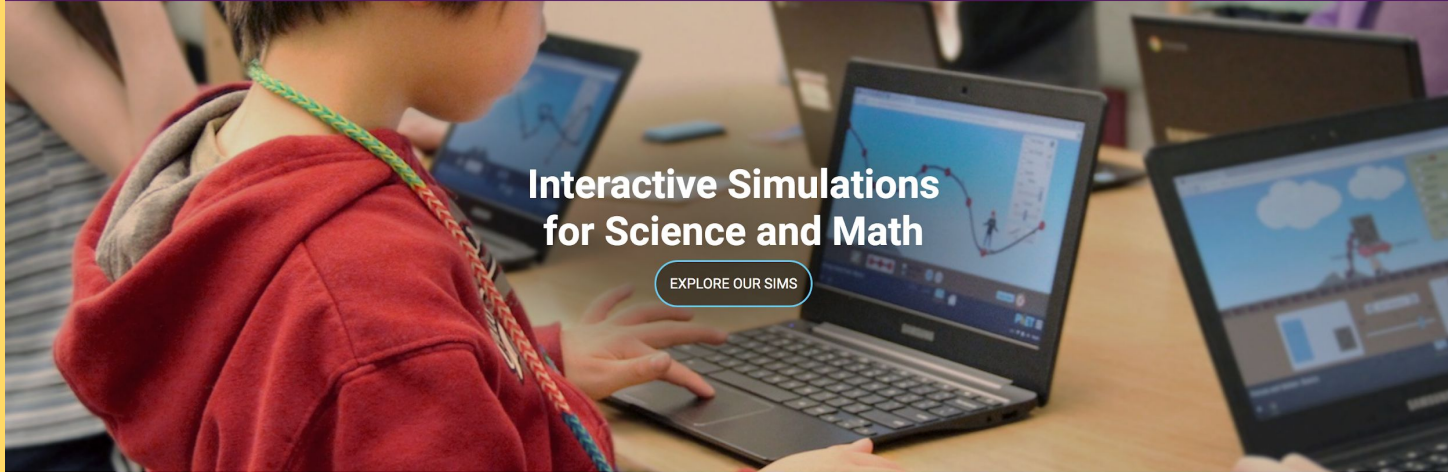
<https://www.vascak.cz/?id=22&language=it>

Materials for Physics education



[SIMULATIONS](#) [TEACHING](#) [RESEARCH](#) [ACCESSIBILITY](#) [DONATE](#)  

PhET's COVID-19 resources: [remote learning tips](#), [HTML5 prototype sims](#), and [browser-compatible Java sims](#).
Help us keep students learning. [Donate Now](#)



806 million simulations delivered

<https://phet.colorado.edu/>

Materials for Physics education

PHET | SUBJECT SIMULATIONS TEACHING RESEARCH ACCESSIBILITY

Physics Physics

- Motion
- Sound & Waves
- Work, Energy & Power
- Heat & Thermo
- Quantum Phenomena
- Light & Radiation
- Electricity, Magnets & Circuits

Chemistry

- General Chemistry
- Quantum Chemistry

Math

- Math Concepts
- Math Applications

Earth Science

Biology

GRADE LEVEL COMPATIBILITY ACCESSIBILITY LOCALE Clear Filters

Physics

- Alpha Decay**
- Atomic Interactions**
- Balancing Act**
- Balloons & Buoyancy**
- Balloons and Static Electricity**
- Band Structure**
- Battery Voltage**
- Battery-Resistor Circuit**
- Bending Light**
- Beta Decay**
- Blackbody Spectrum**
- Build an Atom**

<https://phet.colorado.edu/>

Materials for Physics education



<https://phet.colorado.edu/en/teaching-resources/tipsForUsingPhet>

The conceptual representation
using computer based simulations
- inquiry based approach
(Inquiry-based learning with
Interactive Simulation)

What Levels of Guidance Promote
Engaged Exploration with
Interactive Simulations?

https://phet.colorado.edu/publications/PERC_Interview_Guidance.pdf

(Adams et al. 2008)

Materials for Physics education



Using [PhET Interactive Simulations](#) in College Lecture

Ideas for engaging students through inquiry in lecture settings

University of Colorado's PhET Project has developed over 100 interactive simulations for teaching and learning science. These simulations provide animated, interactive, and game-like environments which enable scientist-like exploration. They emphasize the connections between real life phenomena and the underlying science, make the invisible visible (e.g. atoms, molecules, electrons, photons), and include the visual models that experts use to aid their thinking. **More, including examples, at phet.colorado.edu**

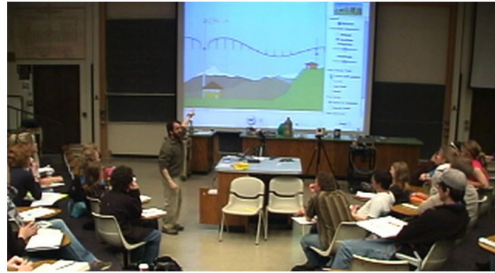
Visual Aids and Demos

By using sims as an animated illustration, instructors find that it is easier to communicate effectively with their students. The sims **show dynamic processes** and these can be **slowed down, sped up, or paused**, depending on the concept being shown; the **invisible is made visible**; and **multiple representations are linked**. Finally, the sims are **easily adjusted** by the instructor during the discussion. These features often make sims more effective for learning and more practical to use than static drawings or live demos.

Student-driven Discussions

PhET is designed to help students develop science inquiry skills by exploring cause-and-effect relationships. Instructors can facilitate **whole-class inquiry** by creating a scenario in the simulation, and asking students to predict the effect of manipulating variables. In such classrooms, students often spontaneously ask **many more, and deeper questions**. It is common for students to ask a series of **"what-if" questions** and direct the teachers' use of the sim.

The [Radio Waves](#) sim helps faculty **communicate ideas** about: creating electromagnetic waves, oscillating electric field strength, and the speed of light.



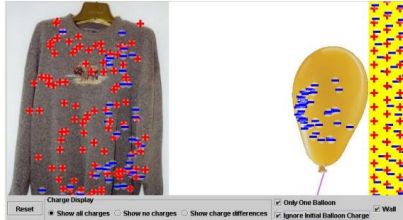
Materials for Physics education

Student-driven Discussions



PhET is designed to help students develop science inquiry skills by exploring cause-and-effect relationships. Instructors can facilitate **whole-class inquiry** by creating a scenario in the simulation, and asking students to predict the effect of manipulating variables. In such classrooms, students often spontaneously ask **many more, and deeper questions**. It is common for students to ask a **series of “what-if” questions** and direct the teachers’ use of the sim.

A short demo of charge transfer and polarization with [Balloons and Buoyancy](#) generates a series of student questions:

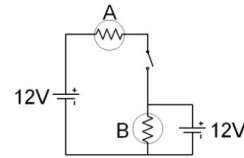


Students say:

*If you rub the sweater on the balloon (rather than balloon on sweater) will electrons transfer the other way?
Can you polarize something where the protons move?
Are there any situations in which the +'s move?*

An in-class question at right resulted in a class-led “what if” exploration with the [Circuit Construction Kit](#). (Only 25% correctly answer D)

The light bulbs in the circuit are identical. When the switch is closed,



- A: bulb A glows, and bulb B changes brightness
- B: bulb A glows, and bulb B stays the same
- C: bulb A does not glow, and bulb B changes brightness
- D: bulb A does not glow, and bulb B stays the same

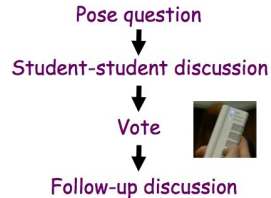
Students say:

*I don't get it. It's a closed circuit.
Can you explain one more time why Bulb A doesn't light?
What if that battery is increased in voltage?
(Instructors says “let's try it. Which way will current flow?”)
What happens to Bulb B current? Does it get brighter?
What happens if you flip one (of the batteries) over?*

Materials for Physics education

Concept or “Clicker” Questions

Concept tests give students an opportunity to discuss and make sense of concepts related to the simulation.



Strategies for Writing Questions*

1. Predict an outcome of an “experiment” with the simulation (e.g., what will happen if? Which change in the sim setup would result in the desired behavior?)
2. Rank cases (e.g. which bulb will be brightest).
3. Compare contrasting cases (e.g., two different waves)
4. Interpret different representations (e.g. graphs, pictures, vectors).
5. Connect to real-world applications

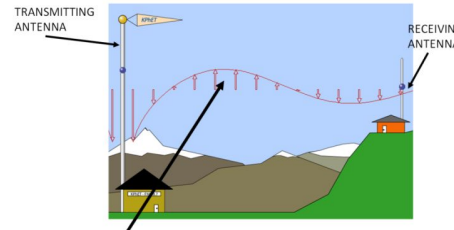
*adapted from Beatty et al., AJP, 2006

Interactive Lecture Demos (ILDs)*

ILDs increase student learning from demos by having students actively identify expectations, and resolve

Instructor probes common student difficulty and then helps students visualize speed of light with the [Radio Waves](#) sim.

How do you measure the propagation speed of the wave (signal)?



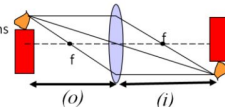
The speed of the wave (signal) is measured as...

- a. how fast this peak moves towards antenna.
- b. how fast this peak moves up and down.
- c. both a or b

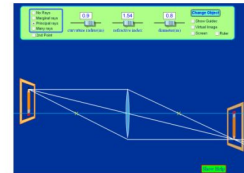
What will happen to image if we increase focal length of lens?

(Keeping the object distance fixed)

- a. Image is same size, same place
- b. Image is same size and further from lens
- c. Image is bigger and further from lens
- d. Image is smaller and closer to lens



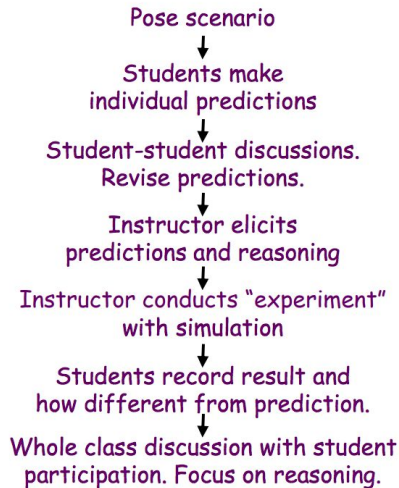
After peer discussion and voting, instructor elicits student reasoning and then settles debate by “doing the experiment” with PhET’s [Geometric Optics](#) simulation.



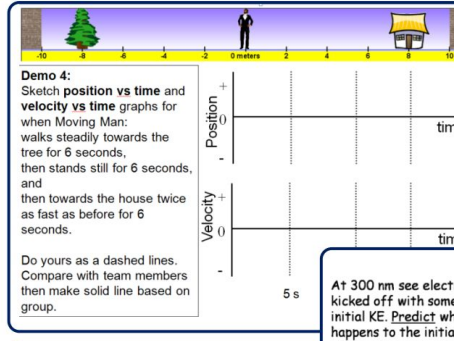
Materials for Physics education

Interactive Lecture Demos (ILDs)*

ILD's increase student learning from demos by having students actively identify expectations, and resolve any inconsistencies.

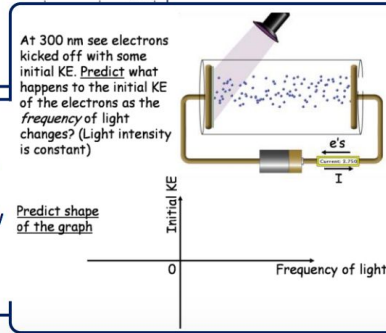


settles debate by "doing the experiment" with PhET's [Geometric Optics](#) simulation.



Question elicits students ideas about graphs. [Sim](#) then allows instructor to dynamically generate graph, and play back motion during further discussions

Many students will predict a linear graph starting at origin. The [sim](#) "experiment" dramatically shows that below a certain frequency, no electrons are kicked off even at high intensities.



*see Sokoloff and Thornton, *Physics Teacher*, 35, 340-346 (1997)

Magnets-Introduction (Inquiry Based) ★

 [Introductio to Magnets Faraday Electromagne Lab CQ.pptx](#) - 186 kB

 [Lesson plan intro to magnets.docx](#) - 19 kB

 [Clicker questions faraday Introductio to Magnets.PDF](#) - 357 kB

 [Lesson plan intro to magnets.pdf](#) - 123 kB

 [Student directions for intro to magnets.pdf](#) - 119 kB

 [Student directions for intro to magnets.DOC](#) - 27 kB

[Download](#) all files as a compressed .zip

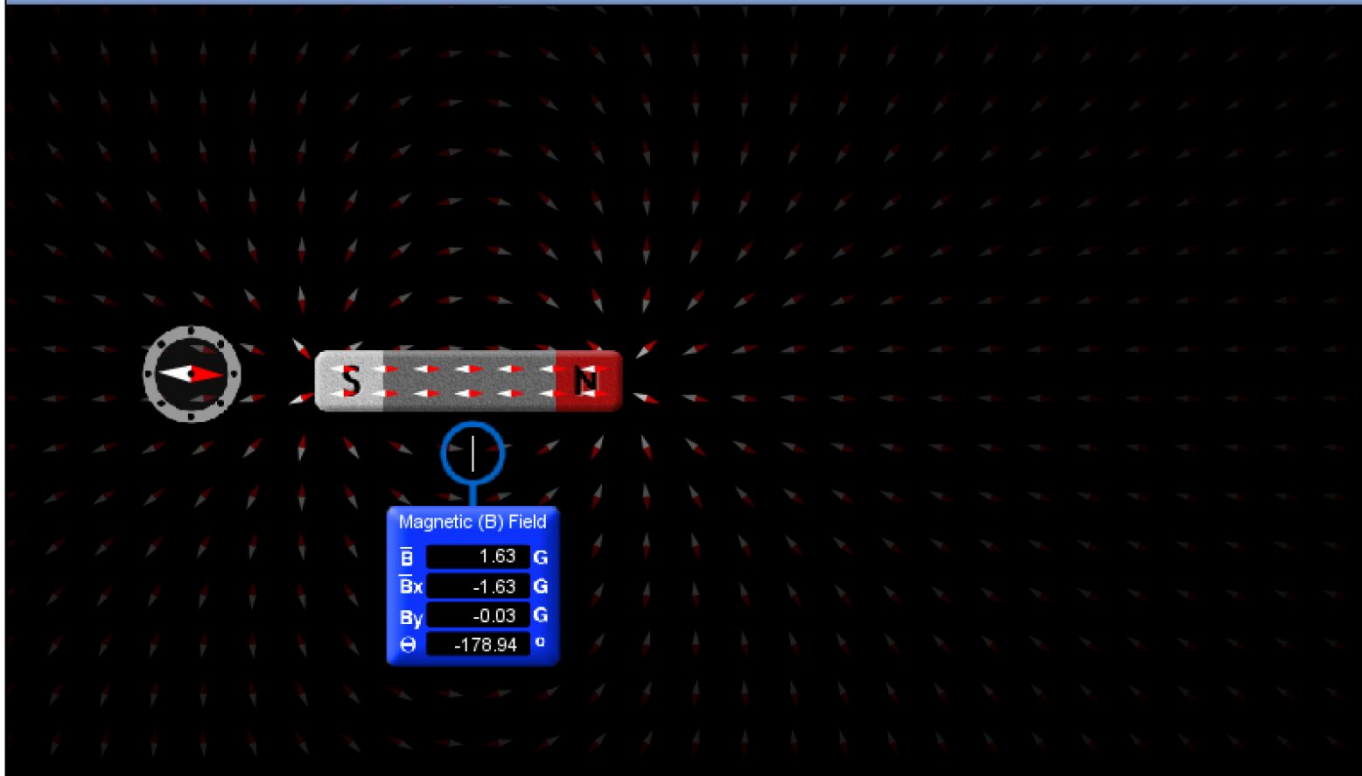
Magnets and Electromagnets



<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/magnets-and-electromagnets>

Bar Magnet

Electromagnet



Bar Magnet

Strength: 37 %



Flip Polarity

 See Inside Magnet Show Field Show Compass Show Field Meter Show planet Earth

Reset All

LET'S TRY NOW ...

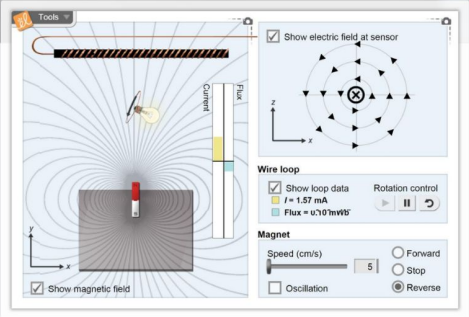
Behind the curtains ...

- EXPLORING the SIMULATION
- <https://phet.colorado.edu/en/simulations/faraday>
- EXPLORING STUDENTS' SHEETS
- <https://phet.colorado.edu/en/contributions/view/2827>
- FOLLOWING the INSTRUCTIONS
- <https://phet.colorado.edu/en/teaching-resources/activity-guide>

Comparing Simulations and Activities

ELECTROMAGNETISM in GIZMO

<https://gizmos.explorelearning.com/index.cfm?method=cResource.dspDetail&ResourceID=1044>



Electromagnetic Induction

Explore how a changing magnetic field can induce an electric current. A magnet can be moved up or down at a constant velocity below a loop of wire, or the loop of wire may be dragged in any direction or rotated. The magnetic and electric fields can be displayed, as well as the magnetic flux and the current in the wire.

5 Minute Preview
Use for 5 minutes a day.

Assessment Questions Recommend Share

<https://youtu.be/10jRTmaozl0>

- PROBLEM SOLVING ?

Non solo formule

*Analisi e costruzione della prova interdisciplinare di
Matematica e Fisica per l'Esame di Maturità*

<https://drive.google.com/file/d/156cR4r5O3024X78u6WGM6fwFgt3scgeK/view?usp=sharing>

L'analisi del testo

Il cambiamento concettuale richiesto per affrontare la nuova prova interdisciplinare di matematica e fisica nell'Esame di Maturità introdotta con il decreto ministeriale 769 (2018), non è stato ancora del tutto messo in atto nell'azione didattica da parte dei docenti che devono preparare i loro studenti ad affrontare il più temuto dei temi. Sono da evitare infatti sia, come spesso è consuetudine, una mera applicazione strumentale della matematica confinata alla risoluzione procedurale di una situazione problematica fisica, sia una limitazione della risoluzione dei problemi fisici al loro puro 'risultato' matematico, non sviluppando la competenza argomentativa nell'attribuire senso fisico ai medesimi risultati.

Si è scelto come argomento interdisciplinare LE DERIVATE E L'INDUZIONE ELETTROMAGNETICA

All'interno di un solenoide lungo $l = 20$ cm, composto da $N_1 = 1000$ spire e percorso da una corrente stazionaria di intensità $i = 3.0$ A, è disposta una seconda bobina di $N_2 = 50$ spire circolari di raggio $r = 3.0$ cm. La bobina, posizionata inizialmente con il suo asse perpendicolare a quello del solenoide, viene messa in rotazione intorno a un asse perpendicolare alle linee di forza del campo magnetico prodotto dal solenoide con una frequenza di $\nu = 100$ Hz. Determinare l'espressione del flusso $\Phi(t)$ del campo magnetico concatenato con la bobina e tracciarne il grafico in funzione del tempo. Dedurre da questo il grafico della forza elettromotrice indotta nella spira $\mathcal{E}(t)$ in funzione del tempo e ricavare la sua espressione analitica.

Esercizio tratto da un libro di testo di liceo scientifico¹

La richiesta di tracciare il grafico del flusso è decontestualizzata da una sua interpretazione dal punto di vista fisico. Rappresentare in linguaggio grafico, in questo modo, non aggiunge alcun valore concettuale. Come non viene aggiunto se si mantiene la descrizione in termini relazionali tra le grandezze, senza attribuirne una misura.

Una bobina è costituita da N spire quadrate di lato l , ha una resistenza elettrica R ed è montata su un carrello che può muoversi con attrito trascurabile su un piano orizzontale. Il carrello viene tirato con velocità costante v ed entra in una zona in cui è presente un campo magnetico \vec{B} , perpendicolare al piano della spira². Spiegare perché la bobina si riscalda e determinare l'espressione della potenza dissipata. Cosa accade se il carrello viene lanciato con velocità v verso la stessa regione?

Seconda prova scritta 2019, sessione suppletiva (questo 7)

Avete un asse reale punto a , costruite le funzioni f e g ad albero

$$f(x) = \sqrt{2(x-a)} \quad g(x) = e^{2(x-a)}$$

1. Provare che, qualunque sia $a > 0$, nell'intervallo $[0, 2]$ il grafico di f ha un unico punto di minimo $F(x_1, y_1)$ ed il grafico di g ha un unico punto di minimo $G(x_2, y_2)$. Verificare che si ha $x_1 = 2x_2 + a$ e $y_1 = -2y_2^2$.
2. Verificare che, qualunque sia $a > 0$, i grafici delle due funzioni sono ortogonali nell'origine, solo a dire che le tangenti sono tangenti in tale punto sono tra loro ortogonali. Determinare per quale valore positivo di a i due grafici si intersecano ortogonalmente anche nei loro ulteriori punti di incontro.

Il problema sottoposto non integra le due discipline, ma sostanzialmente rimane un problema solo di matematica. Infatti, i primi due quesiti sono solo esercizi di matematica e il terzo e quarto fanno riferimento alla fenomenologia fisica ma solo come contesto generale.

L'esercizio proposto sul libro di testo del liceo risulta della stessa complessità di quello universitario perché viene richiesto di determinare la relazione matematica che descrive il flusso di un campo magnetico concatenato: questo implica un numero molto elevato di passaggi concettuali che non sono nemmeno esplicitati nella descrizione.

Una spira conduttrice di raggio a , avente resistenza elettrica R , è posta in una zona di spazio in cui è presente un campo di induzione magnetica \vec{B} uniforme, diretto perpendicolarmente al piano della spira. Il modulo B varia nel tempo con andamento sinusoidale $B(t) = B_0 \sin(\omega t)$. Risolvere:

- l'andamento della forza elettromotrice indotta in funzione del tempo $\mathcal{E}(t)$;
- la potenza massima P_{max} dissipata per effetto Joule nella spira;
- il modulo del campo elettrico indotto $E(t)$ al variare del tempo.

Esercizio tratto da un libro di testo universitario³

La richiesta di questo quesito non è commisurata al livello degli studenti, perché per essere risolta correttamente richiede di capire che la velocità, come funzione del tempo, debba essere trovata risolvendo un'equazione differenziale. La richiesta di argomentazione invece è adeguata e poteva essere valorizzata maggiormente, richiedendone casomai una giustificazione matematica, come caso limite.

1. Data la spirale, assumete $a = 1$. In un riferimento cartesiano, dare la lunghezza reale espressa in archi (cioè l'insieme degli archi di curva di equazioni $y = f(x)$ e $y = g(x)$, per $x \in [0, 2]$), rappresenta il grafico di una spira cartilaginea. Sia R la regione piana delimitata da tale spira.

2. Supponete che nella regione R sia presente un campo magnetico uniforme, perpendicolare al piano di R , avente intensità $B_0 = 1.0 \cdot 10^{-2}$ T, verificate che il valore assoluto del flusso di tale campo attraverso R è pari a $1.0 \cdot 10^{-10}$ Wb.

3. Supponete che la spira abbia resistenza elettrica R pari a 70Ω e che il campo magnetico, rimanendo perpendicolare al piano di R , si muova dall'interno di R a R a velocità variabile in legge:

$$B(t) = B_0 e^{-t} \cos(\omega t)$$

con $\omega = \pi$ rad/s e $t \in [0, 2]$ (esprimete le sensuali s). Determinare l'intensità della corrente indotta nella spira in funzione di t , specificando la spira (inteso per la prima volta la corrente circolare verso). Qual è il valore massimo di tale corrente per $t \in [0, 2]$? Spiegare quale relazione esista tra la relazione del campo che induce la corrente e il verso della corrente indotta.

Simulazione seconda prova scritta 2019 (problema 2)

Sono stati confrontati quattro esercizi sull'argomento scelto

La relazione matematica scelta per descrivere il campo magnetico è ben nota agli studenti, che ne conoscono bene le caratteristiche matematiche.

Spira metallica in un campo magnetico variabile

Una spira metallica quadrata di lato $l = 60$ cm e di resistenza elettrica per l è $R = 70 \Omega$ si trova in una regione di spazio dove è presente un campo magnetico \vec{B} , uniforme e perpendicolare al piano della spira. A partire dall'istante di tempo $t_0 = 0$ s, l'intensità del campo magnetico inizia a variare secondo la legge:

$$B(t) = B_0 \cos(\omega t)$$

con $B_0 = 2.0 \cdot 10^{-2}$ T, $\omega = \pi$ rad/s e $t \geq 0$ espresso in secondi (s).

L'applicazione della formula di derivazione nella legge di Faraday-Neumann.

1. Rappresentare graficamente il flusso del campo magnetico $\Phi(t)$ concatenato alla spira, in funzione del tempo e descriverne l'andamento.
2. Dopo aver esposto che tipo di relazione esiste tra la variazione di flusso concatenato alla spira e la corrente indotta in essa dedurre, per via grafica, l'andamento della corrente indotta. Fornire quindi un'interpretazione fisica del fenomeno osservando i due grafici.
3. Ricavare l'espressione analitica della corrente indotta $i(t)$ al variare del tempo, trovare gli istanti di tempo in cui essa cambia verso e calcolare il suo valore massimo i_{max} .
4. Spiegare perché la spira si riscalda e trovare l'espressione della potenza elettrica dissipata $P(t)$ al variare del tempo. Cosa si può dire del grafico di $P(t)$? Calcolare il suo valore agli istanti $t_1 = 0$ s, $t_2 = 0.5$ s, $t_3 = 1.0$ s, $t_4 = 1.5$ s, $t_5 = 2.0$ s.
5. Supporto adesso che il campo magnetico nel nel tempo secondo la funzione

$$B(t) = B_0 e^{-t} \cos(\omega t)$$

(dove ω e B_0 hanno gli stessi valori numerici) il cui andamento è rappresentato dal seguente grafico per $t \geq 0$.

La rappresentazione grafica è funzionale alla descrizione del fenomeno fisico.

Il confronto tra le due descrizioni del campo magnetico conferisce alla relazione matematica un valore predittivo che offre la possibilità di integrare veramente le due discipline.

Come cambierà l'andamento della corrente indotta $i(t)$ rispetto alla situazione precedente? Ricavare anche in questo caso l'espressione analitica di $i(t)$.

6. Si vuole sfruttare la spira in questione per alimentare un dispositivo che funzioni grazie all'induzione elettromagnetica. Quale dei due andamenti temporali del campo magnetico sopra descritti è più conveniente considerare per avere la migliore efficienza? Giustificare la risposta confrontando i valori di $P(t)$ tra le due situazioni negli istanti di tempo t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 .

Contestualizzazione del problema alla fenomenologia fisica.

La descrizione dell'andamento deve essere sia di tipo matematico che di tipo fisico.

L'argomentazione viene supportata dall'esemplificazione.

L'attenzione è stata focalizzata sulla costruzione delle prove, calibrate nelle richieste, nell'uso del formalismo, nella rappresentazione del fenomeno secondo i diversi linguaggi disciplinari tra loro opportunamente integrati; questo al fine di offrire allo studente la possibilità di incontrare e affrontare la pluralità dei significati che si possono evincere da una corretta interpretazione e dalle diverse traduzioni della medesima realtà fisica.

La costruzione del testa

È stato proposto a cinque classi quinte (per un totale di 110 studenti) del liceo scientifico G. Oberdan di Trieste un percorso sulle simulazioni in preparazione all'esame di Stato che avesse come scopo l'integrazione tra le due discipline. L'attività prevista ha coinvolto le classi dalle 5 alle 6 ore curricolari in presenza tra gennaio e febbraio del 2020.



Nella fase di somministrazione gli studenti sono stati guidati nella risoluzione del problema della spira metallica in un campo magnetico. Durante lo svolgimento del problema è stata posta particolare attenzione ai linguaggi disciplinari, sia matematico sia fisico, cercando di integrarli il più possibile nell'ottica di argomentare i risultati sia dal punto di vista di entrambe le discipline. Particolare attenzione è stata data alla descrizione della situazione fisica presentata, che, se non è correttamente compresa non può essere nemmeno rappresentata in linguaggio matematico¹.

Parallellismo di un alternatore

Un alternatore è un dispositivo in grado di trasformare energia meccanica in energia elettrica. Il suo principio di funzionamento consiste nel far ruotare, con frequenza f , una bobina di N spire in un campo magnetico uniforme di intensità B costante, in modo tale che la normale al piano della bobina forma con le linee del campo magnetico un certo angolo $\theta(t)$ variabile nel tempo.

1. Spiegare perché un dispositivo del tipo è in grado di generare corrente.

Si schematizzi l'interno di un alternatore con una bobina di N spire circolari, ciascuna di raggio $r = 0,25$ m, che ruota con una frequenza $f = 50$ Hz costante nel tempo ed è immersa in un campo magnetico uniforme di intensità costante $B = 0,5$ T. All'istante $t = 0$ la bobina è ferma e il piano delle sue spire è parallelo alla linea di campo.

2. Determinare la funzione $\Phi(N, t)$ che esprime il flusso del campo magnetico concatenato alla bobina in funzione del tempo t e al numero del numero N di spire.

3. Determinare la funzione $\mathcal{E}(N, t)$ che descrive come varia la f.e.m. indotta nella bobina al variare del tempo, al variare del numero N di spire.

4. Calcola il numero N di spire necessario per ottenere una tensione massima di $V_{max} = 200$ V.

5. Con N stabilito nel punto precedente, rappresentare graficamente l'andamento temporale della corrente indotta $i(t)$ nella bobina, sapendo che la sua resistenza elettrica vale $R = 100$ Ω .

Sapere almeno che la bobina è in grado di restare dall'istante iniziale con accelerazione angolare $\alpha > 0$ costante e velocità angolare ω iniziale nulla.

6. Si riporta, in questa situazione, il grafico della funzione $\Phi(t)$ rappresentando il flusso concatenato alla bobina.

Trovare l'espressione analitica di $\Phi(t)$ in questa situazione. Quali sarà un andamento grafico approssimativo della funzione $\mathcal{E}(t)$? Fornire una spiegazione fisica di quanto ottenuto.



Il secondo problema proposto aveva le stesse caratteristiche organizzative del testo, la stessa tipologia di difficoltà e gli stessi obiettivi concettuali. Gli studenti sono stati lasciati autonomi nello svolgimento del problema, utilizzando anche gli appunti a loro disposizione. Al termine della somministrazione è stato corretto e commentato il problema cercando di mettere in risalto i nodi risolutivi, l'accettabilità delle argomentazioni matematiche e fisiche e la potenzialità di integrazione delle discipline che il problema voleva evidenziare.

La somministrazione

PROPOSTA ELABORATA DA:

V. Bologna*, A. Frontino Crisafulli**, F. Longo***
Dipartimento di Fisica - Università degli Studi di Trieste

IN COLLABORAZIONE CON:

D. La Macchia, M. Massarotti, S. Novello, G. Turri
Liceo Scientifico G. Oberdan, Trieste

* valentina.bologna@phd.units.it

** albertofrontinocrisafulli@studenti.units.it

*** francesco.longo@ts.infn.it

L'analisi delle prove somministrate ha offerto poi uno strumento per individuare le difficoltà principali e identificare i nodi concettuali meno consolidati sia di tipo matematico che fisico.

Sono state corrette le prove somministrate agli studenti e svolte da loro autonomamente come prova di simulazione. Gli errori sono stati raccolti e organizzati individuando quali competenze disciplinari trasversali alla matematica e alla fisica erano meno sviluppate o segnalavano la presenza di difficoltà concettuali.



È stato fatto un confronto tra il livello degli apprendimenti degli studenti in matematica (sull'argomento delle derivate) e gli esiti della prova di simulazione. Anche chi aveva raggiunto valutazioni molto alte ha evidenziato alcune tra le difficoltà individuate. Sicuramente un approccio didattico in matematica che favorisca l'integrazione degli usi della variabile (secondo il modello per esempio delle 3UV¹) probabilmente supporterebbe l'integrazione disciplinare come richiesto in una prova interdisciplinare per l'Esame di Maturità.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI:

- ⁽¹⁾ Caforio, A., & Ferilli, A. (2015). *Fisica! Pensare l'Universo*. Le Monnier Scuola.
- ⁽²⁾ Mencuccini, C., & Silvestrini, V. (2016). *Esercizi di Fisica. Elettromagnetismo e Ottica*. Ambrosiana.
- ⁽³⁾ Pospiech, G. (2019). *Framework of mathematization in Physics from a Teaching Perspective*. In G. Pospiech, M. Michelini & B. Eylon (Eds.), *Mathematics in Physics Education*, Cham, CH: Springer.
- ⁽⁴⁾ Ursini, S. (2011). *Il Modello 3UV: uno strumento teorico a disposizione degli insegnanti di matematica*. *QuaderniCIRD*, **2**.

Risultati e discussione