Κεφάλαιο 28
Πηγές Μαγνητικών Πεδίων

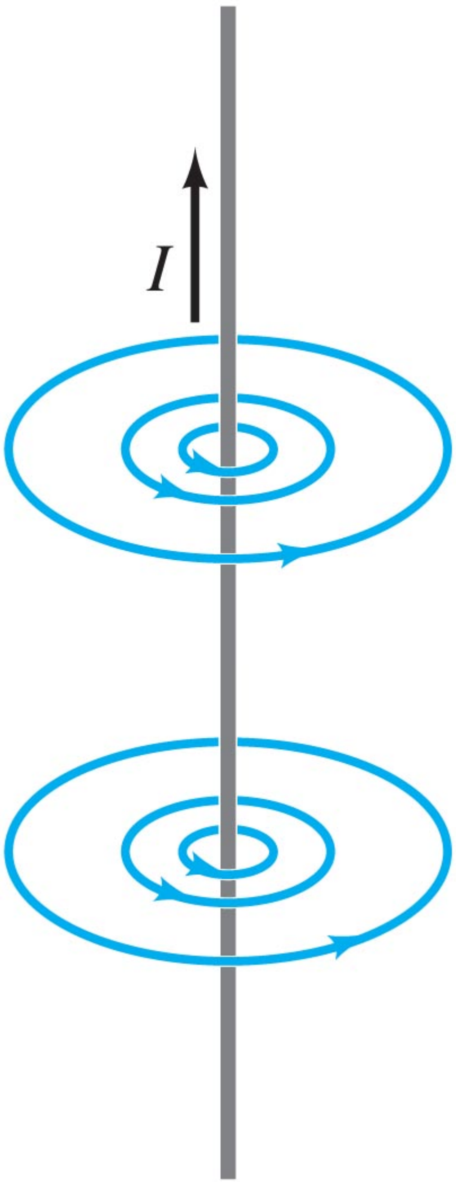
Περιεχόμενα Κεφαλαίου 28

- Μαγνητικό πεδίου ευθύγραμμου καλωδίου
- Δύναμη μεταξύ παράλληλων καλωδίων
- Ο Νόμος του Ampère
- Σωληνοειδή και Πηνία
- Νόμος των Biot-Savart
- Μαγνητικά Υλικά – Ferromagnetism-Paramagnetism - Diamagnetism
- Εφαρμογές

28-1 Μαγνητικό Πεδίο Καλωδίου

Το μαγνητικό πεδίο ενός ευθύγραμμου καλωδίου είναι αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης:

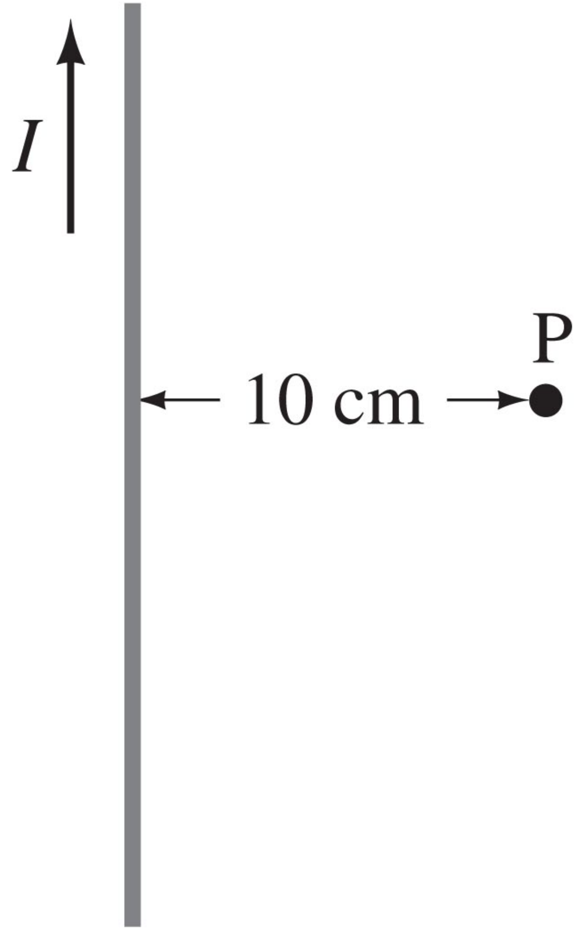
$$B = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I}{r}. \qquad \text{[near a long straight wire]}$$



Η σταθερά μ_0 ονομάζεται διαπερατότητα του κενού και έχει τιμή

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \mathrm{T\cdot m/A}.$$

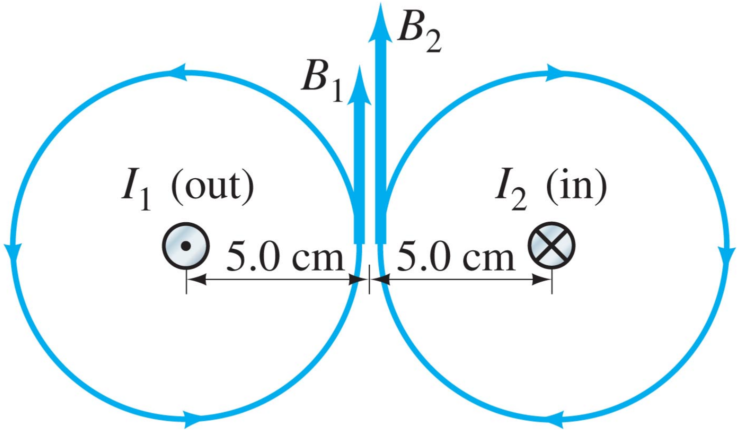
Το κατακόρυφο καλώδιο ενός σπιτιού έχει ρεύμα 25 A. Πόσο είναι το μαγνητικό πεδίο που παράγει σε απόσταση 10 cm



ΛΥΣΗ

$B = 5.0\ 10^{-5}$ T

Δύο παράλληλα καλώδια απέχουν 10.0 cm και φέρουν ρεύμα με αντίθετες φορές. I_1 = 5.0 A (με διεύθυνση εκτός επιπέδου) και I_2 = 7.0 A (φορά προς το επίπεδο). Πόσος είναι το μαγνητικό πεδίο σε απόσταση 5 cm από κάθε καλώδιο;



ΛΥΣΗ

$$B = B_1 + B_2 = (2.0\ 10^{-5} + 2.8\ 10^{-5})\ T = 4.8\ 10^{-5}\ T$$

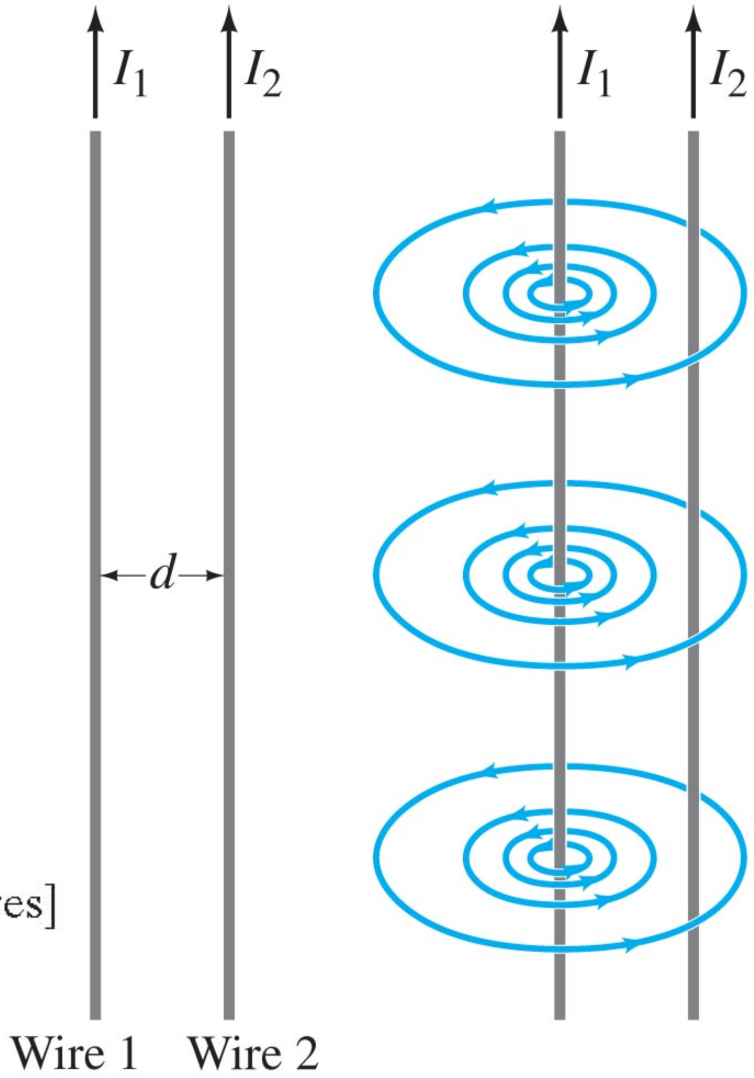
28-2 Δύναμη Μεταξύ Παράλληλων Καλωδίων

Το μαγνητικό πεδίο που παράγει το καλώδιο 1 στη θέση του καλωδίου 2 είναι:

$$B_1 = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I_1}{d}.$$

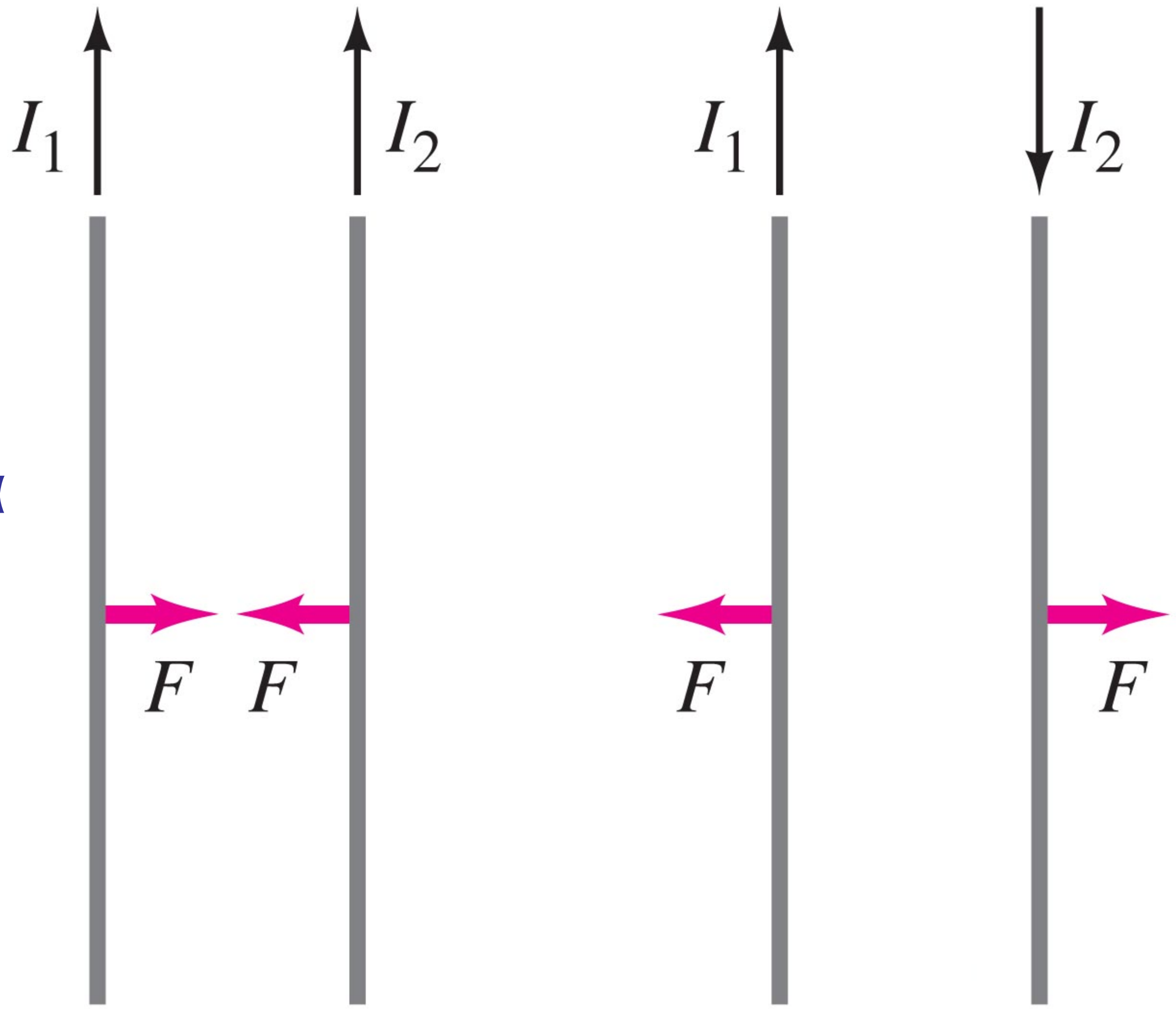
Η δύναμη που ασκεί στο μήκος ℓ_2 είναι

$$F_2 = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I_1 I_2}{d}\ell_2. \quad \text{[parallel wires]}$$

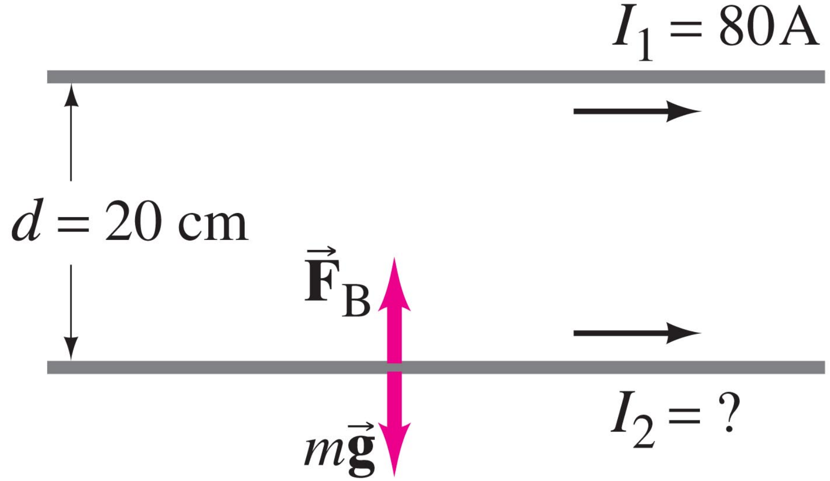


Παράλληλα ρεύματα, έλξη καλωδίων.

Αντιπαράλληλα ρεύματα, άπωση καλωδίων



Οριζόντιο καλώδιο φέρει ρεύμα I_1 = 80 A dc. Πόσο ρεύμα I_2 απαιτείται στο δεύτερο καλώδιο που απέχει 20 cm ώστε να αιωρείται; Η πυκνότητα του δεύτερου καλωδίου είναι 0.12 g/m.



ΛΥΣΗ

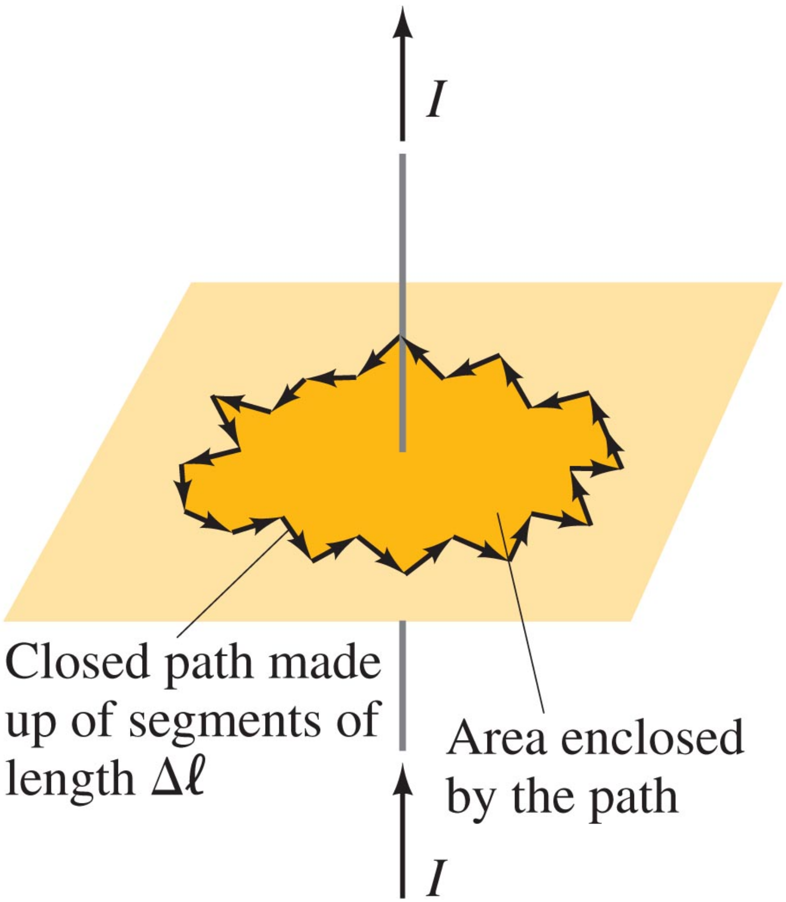
$I_2 = 15$ A

28-4 Ο Νόμος του Ampère

Ο νόμος του Ampère συνδέει το ρεύμα ενός βρόχου με το παραγόμενο μαγνητικό πεδίο:

$$\oint \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I_{\text{encl}}.$$

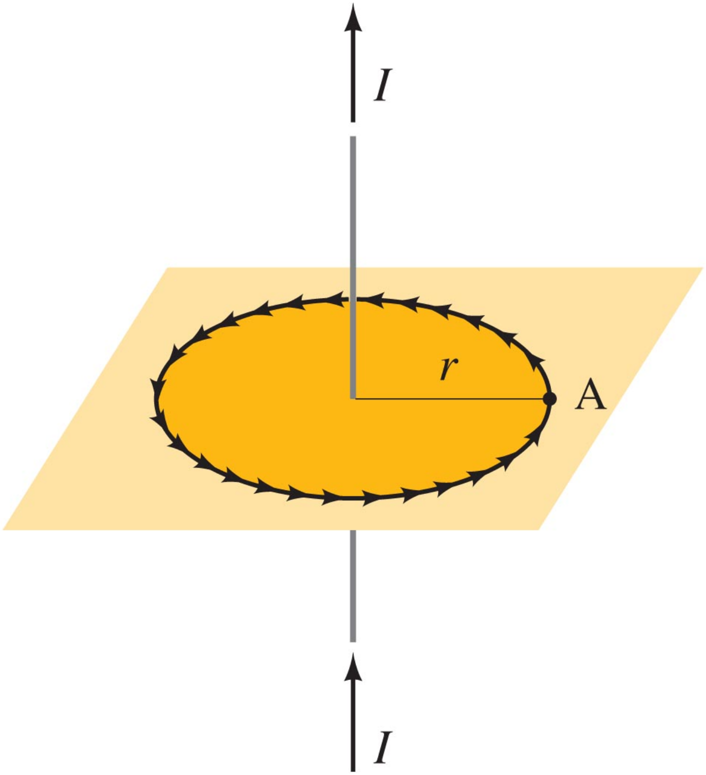
Η ολοκλήρωση λαμβάνει χώρα στην ακμή του κλειστού βρόχου.



28-4 Ο Νόμος του Ampère

Χρησιμοποιούμε το νόμο του Ampère για να βρούμε το μαγνητικό πεδίο ευθύγραμμου καλωδίου:

Θεωρούμε κυκλικό βρόχο με άξονα το καλώδιο $\vec{B} // d\vec{l}$



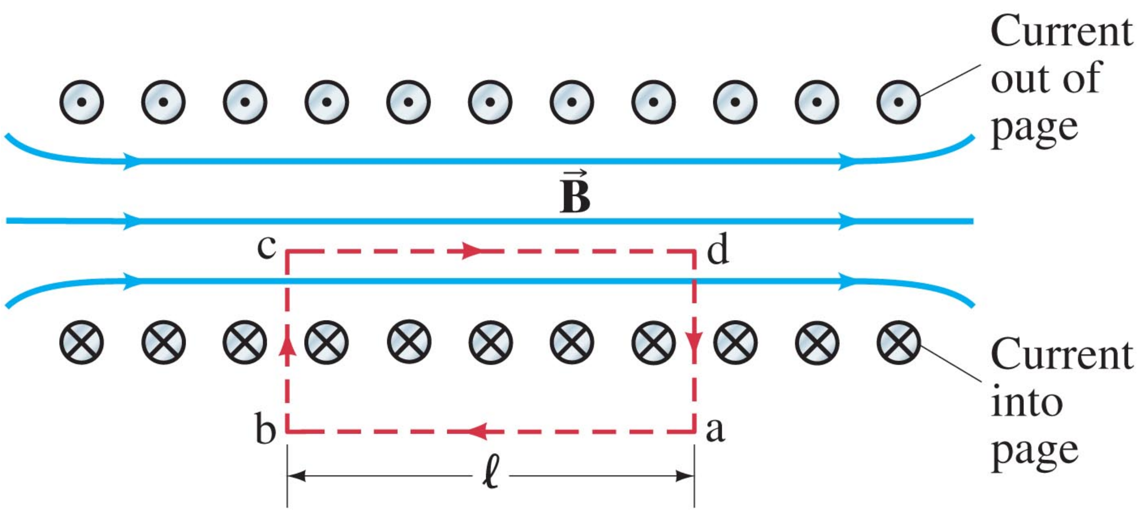
$$\mu_0 I = \oint \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\ell}$$

$$= \oint B\, d\ell = B \oint d\ell = B(2\pi r).$$

Επομένως $B = \mu_0 I/2\pi r$

28-5 Σωληνοειδή και Πηνία

Το σωληνοειδές είναι μια κουλούρα με πολλές περιελίξεις. Εφαρμόζοντας το νόμου του Ampère κατά μήκος του εικονιζόμενου βρόχου βρίσκουμε το πεδίο του σωληνοειδούς



$$B = \mu_0 n I. \qquad \text{[solenoid]}$$

Το πεδίο εκτός σωληνοειδούς είναι ΜΗΔΕΝ.

Ένα σωληνοειδές έχει μήκος, 400 περιελίξεις και ρεύμα 2.0 A. Πόσο είναι το μαγνητικό πεδίο στο κέντρο του;

ΛΥΣΗ

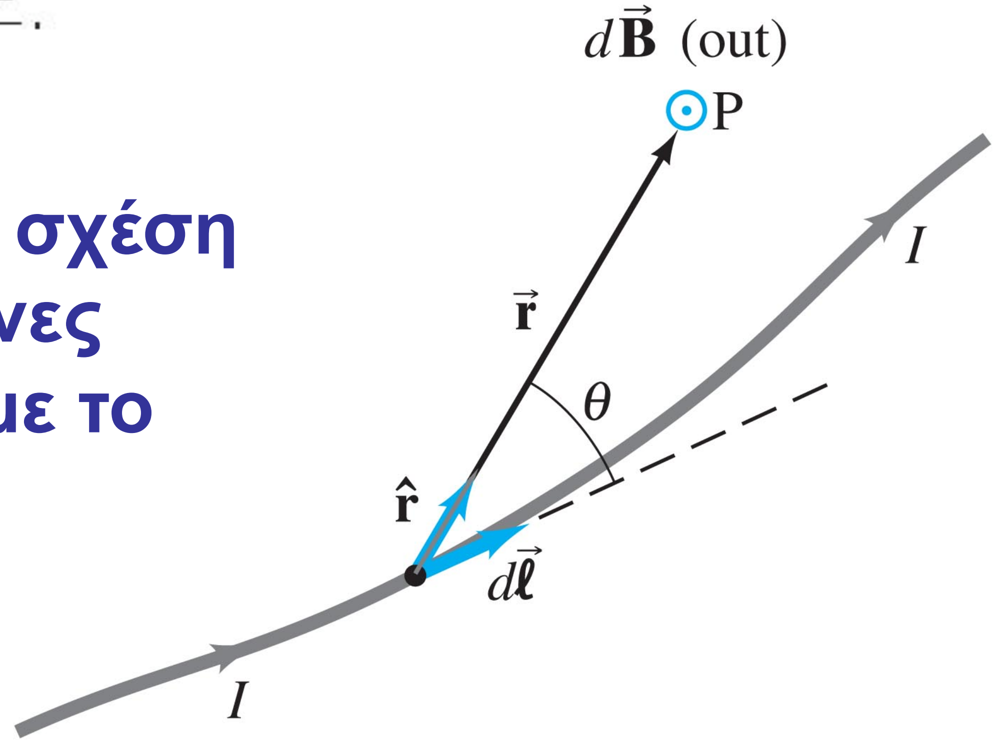
$B = 1.0\ 10^{-2}$ T

28-6 Νόμος των Biot-Savart

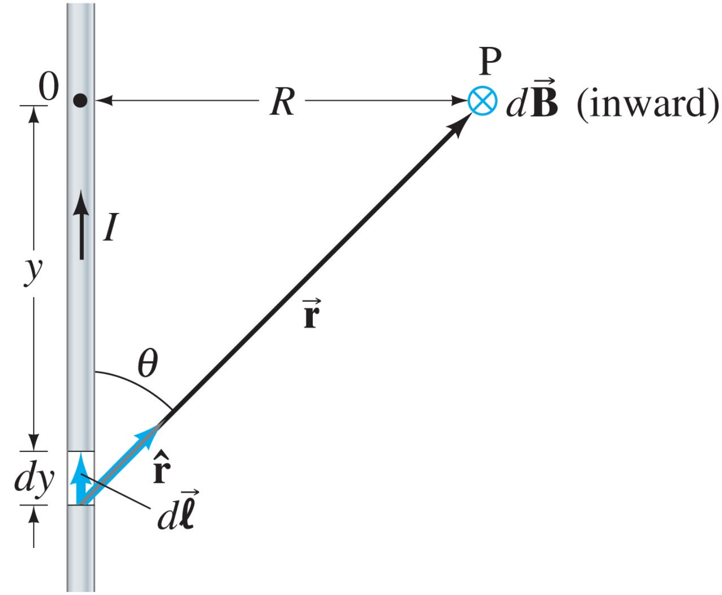
Ο νόμος των Biot-Savart συνδέει τη μεταβολή στο ρεύμα με τη μεταβολή του μαγνητικού πεδίου:

$$d\vec{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{\ell} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}.$$

Ολοκληρώνοντας τη σχέση αυτή για συγκεκριμένες γεωμετρίες βρίσκουμε το μαγνητικό πεδίο



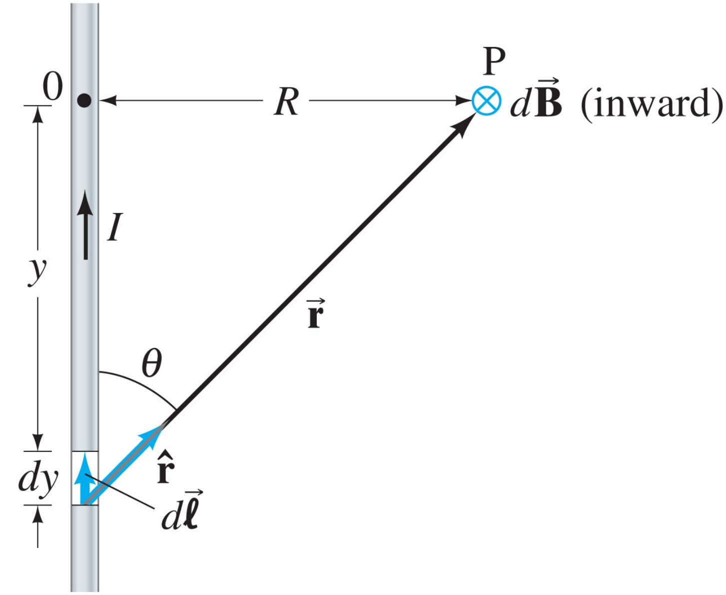
Εφαρμόζοντας το νόμο του Biot-Savart επαληθεύστε ότι το μαγνητικό πεδίο ευθύγραμμου καλωδίου είναι $B = \mu_0 I / 2\pi r$.



APPROACH We calculate the magnetic field in Fig. 28–19 at point P, which is a perpendicular distance R from an infinitely long wire. The current is moving upwards, and both $d\vec{\boldsymbol{\ell}}$ and $\hat{\mathbf{r}}$, which appear in the cross product of Eq. 28–5, are in the plane of the page. Hence the direction of the field $d\vec{\mathbf{B}}$ due to each element of current must be directed into the plane of the page as shown (right-hand rule for the cross product $d\vec{\boldsymbol{\ell}} \times \hat{\mathbf{r}}$). Thus all the $d\vec{\mathbf{B}}$ have the same direction at point P, and add up to give $\vec{\mathbf{B}}$ the same direction consistent with our previous results (Figs. 28–1 and 28–11).

SOLUTION The magnitude of $\vec{\mathbf{B}}$ will be

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{y=-\infty}^{+\infty} \frac{dy \sin\theta}{r^2},$$



$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{y=-\infty}^{+\infty} \frac{dy \sin\theta}{r^2},$$

where $dy = d\ell$ and $r^2 = R^2 + y^2$. Note that we are integrating over y (the length of the wire) so R is considered constant. Both y and θ are variables, but they are not independent. In fact, $y = -R/\tan\theta$. Note that we measure y as positive upward from point 0, so for the current element we are considering $y < 0$. Then

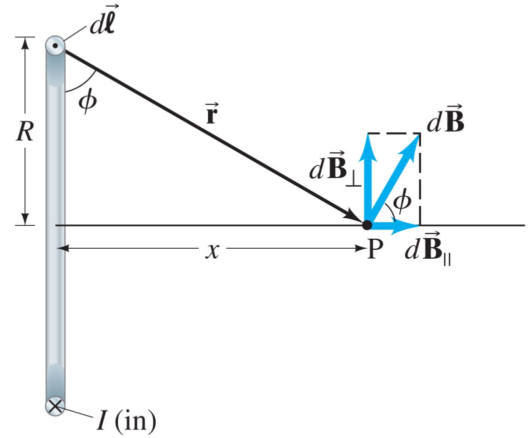
$$dy = +R\csc^2\theta\, d\theta = \frac{R\, d\theta}{\sin^2\theta} = \frac{R\, d\theta}{(R/r)^2} = \frac{r^2\, d\theta}{R}.$$

From Fig. 28–19 we can see that $y = -\infty$ corresponds to $\theta = 0$ and that $y = +\infty$ corresponds to $\theta = \pi$ radians. So our integral becomes

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{1}{R}\int_{\theta=0}^{\pi} \sin\theta\, d\theta = -\frac{\mu_0 I}{4\pi R}\cos\theta\bigg|_0^{\pi} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}.$$

This is just Eq. 28–1 for the field near a long wire, where R has been used instead of r.

Βρείτε το μαγνητικό πεδίο για κυκλικό βρόχο ακτίνας R και ρεύματος I.



APPROACH For an element of current at the top of the loop, the magnetic field $d\vec{B}$ at point P on the axis is perpendicular to $\vec{r}$ as shown, and has magnitude (Eq. 28–5)

$$dB = \frac{\mu_0 I\, d\ell}{4\pi r^2}$$

since $d\vec{\ell}$ is perpendicular to $\vec{r}$ so $|d\vec{\ell} \times \hat{r}| = d\ell$. We can break $d\vec{B}$ down into components $dB_\parallel$ and $dB_\perp$, which are parallel and perpendicular to the axis as shown.

SOLUTION When we sum over all the elements of the loop, symmetry tells us that the perpendicular components will cancel on opposite sides, so $B_\perp = 0$. Hence, the total $\vec{B}$ will point along the axis, and will have magnitude

$$B = B_\parallel = \int dB\cos\phi = \int dB\frac{R}{r} = \int dB\frac{R}{(R^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}},$$

where x is the distance of P from the center of the ring, and $r^2 = R^2 + x^2$. Now we put in dB from the equation above and integrate around the current loop, noting that all segments $d\vec{\ell}$ of current are the same distance, $(R^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}$, from point P:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{R}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}\int d\ell = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

since $\int d\ell = 2\pi R$, the circumference of the loop.

NOTE At the very center of the loop (where $x = 0$) the field has its maximum value

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}. \qquad \text{[at center of current loop]}$$

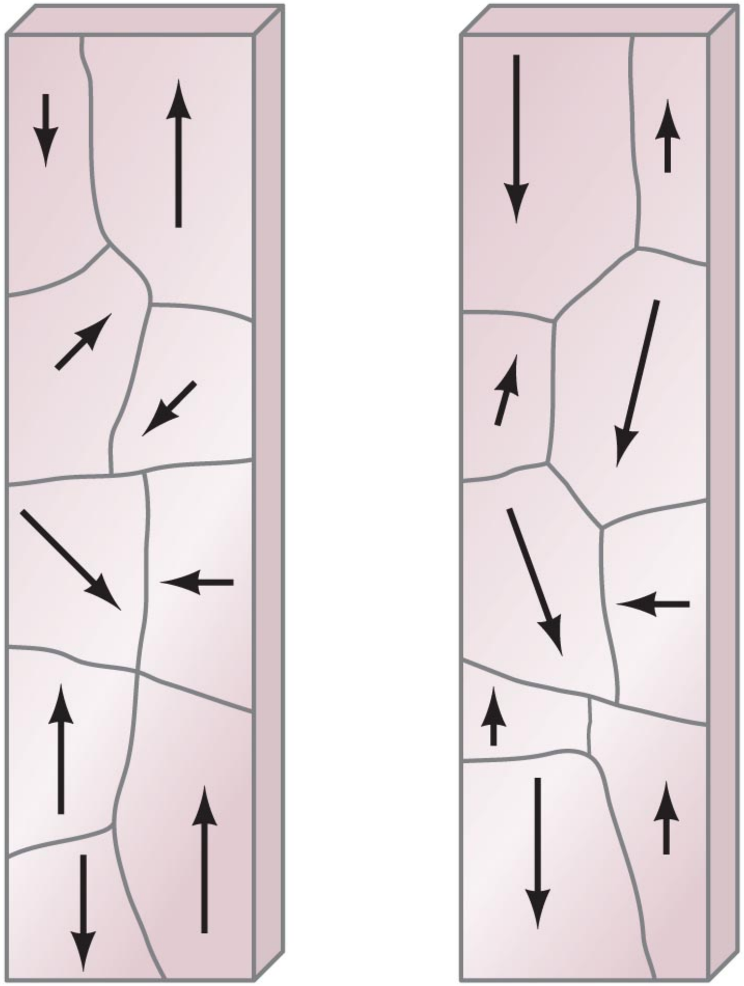
28-7 Μαγνητικά Υλικά – Ferromagnetism

Ferromagnetic (σιδηρομαγνητικά) υλικά είναι εκείνα που δείχνουν έντονο μαγνητισμό όπως ο σίδηρος και το νικέλιο.

Τα υλικά αυτά αποτελούνται από μικρές «μαγνητικές περιοχές». Το μαγνητικό πεδίο σε κάθε τέτοια περιοχή είναι απόλυτα προσανατολισμένο.

28-7 Σιδηρομαγνητικά Υλικά

Όταν το υλικό δεν έχει μαγνητιστεί, ο προσανατολισμός των πεδίων των περιοχών είναι τυχαίος. Παρουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου όμως, το πεδίο των περιοχών προσανατολίζεται έντονα.



Ένα μαγνήτης τείνει να διατηρήσει το μαγνητισμό του. Δύναται να απομαγνητιστεί εάν ζεσταθεί ή έπειτα από κρούσεις.

Η σχέση μεταξύ εξωτερικού μαγνητικού πεδίου και του μαγνητικού πεδίου του υλικού είναι πολύ σύνθετη.

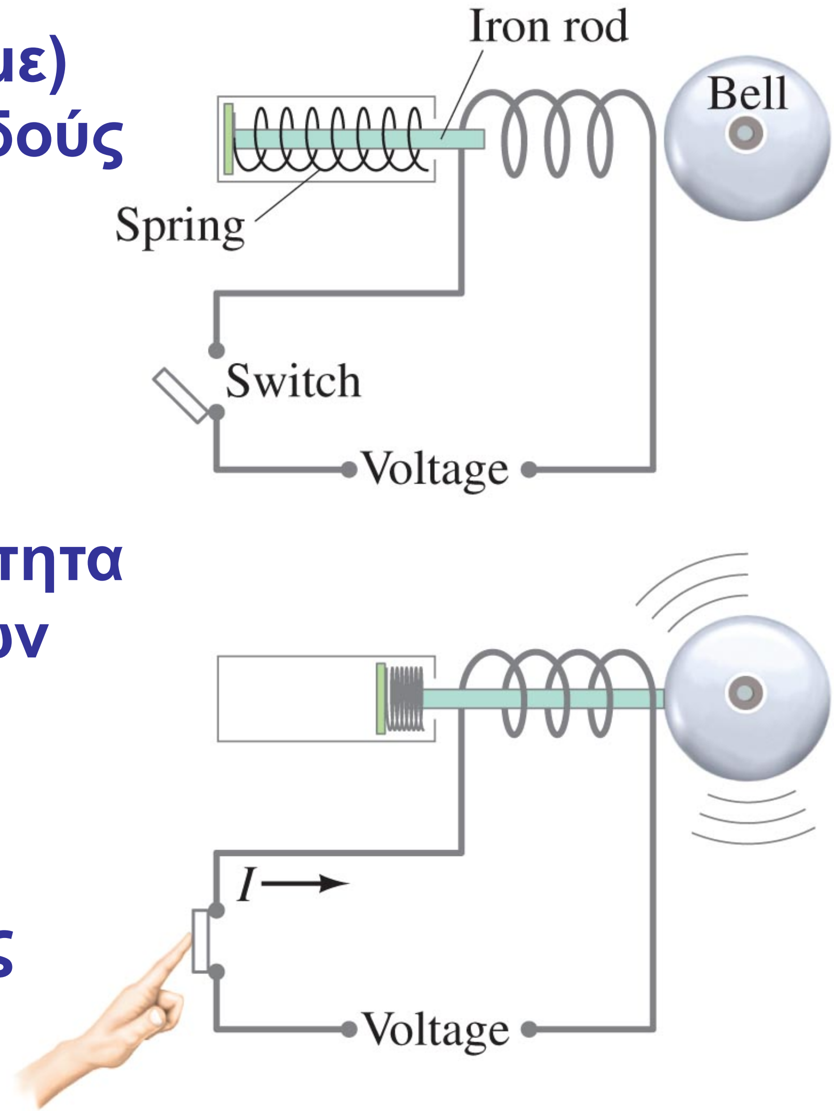
28-8 Εφαρμογές

Όταν «γεμίσουμε» (οπλίσουμε) το εσωτερικό ενός σωληνοειδούς με σίδηρο η ένταση του μαγνητικού πεδίου πολλαπλασιάζεται.

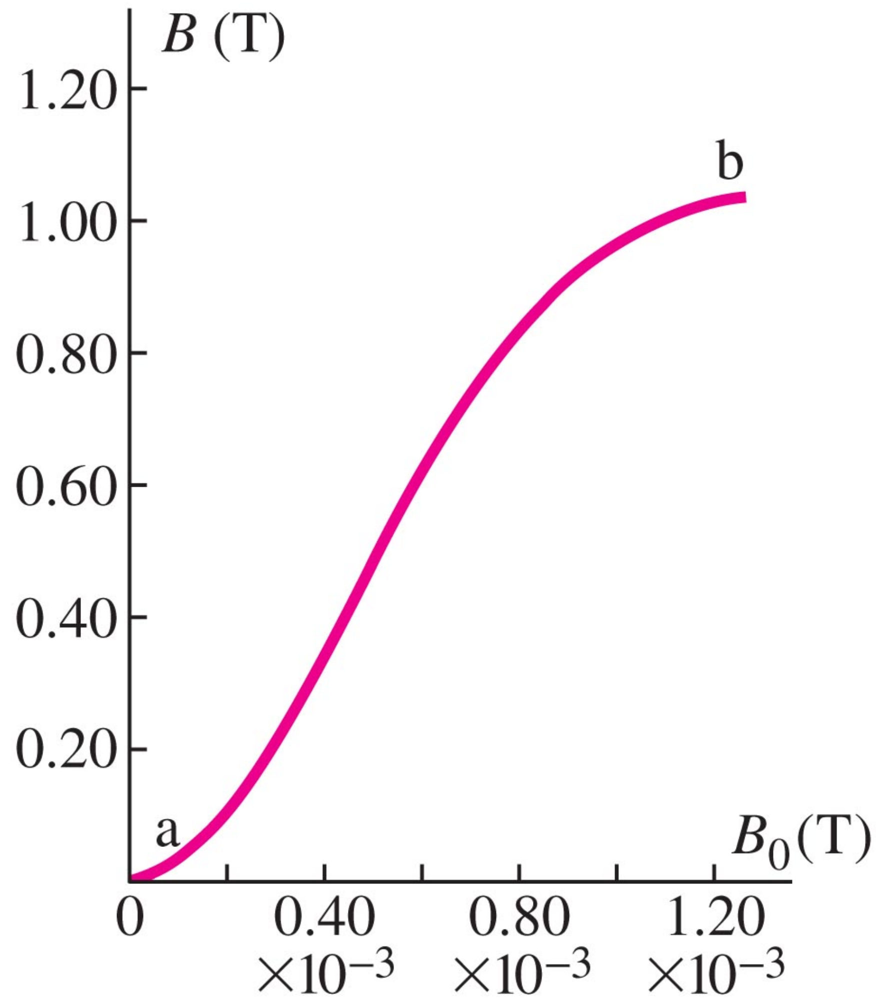
$$B = \mu I$$

όπου η μαγνητική διαπερατότητα των σιδηρομαγνητικών υλικών $\mu >> \mu_0$.

Οι ηλεκτρομαγνήτες αυτοί γνωρίζουν πολλές εφαρμογές

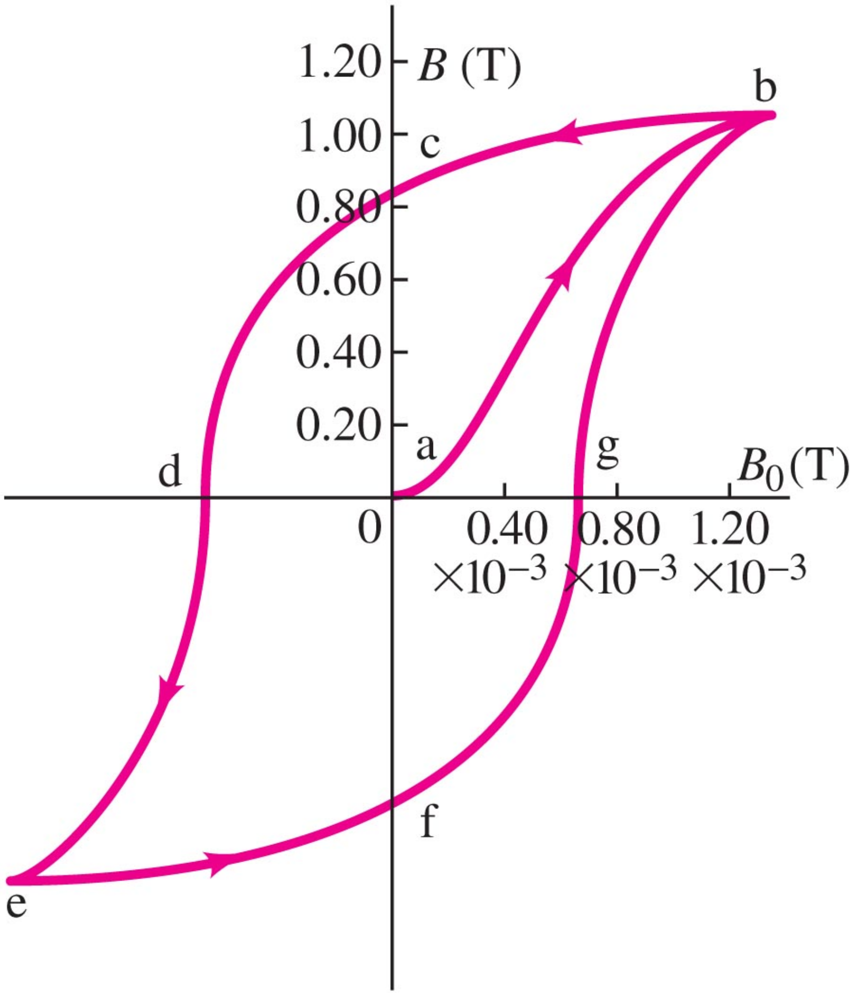


Η μαγνητική διαπερατότητα εξαρτάται από την ένταση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.



Το φαινόμενο της ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ

Εξηγείστε το Σχήμα



28-10 Παραμαγνητικά και Διαμαγνητικά Υλικά

Παραμαγνητικά Υλικά: $\mu > \mu_0$

Διαμαγνητικά Υλικά: $\mu < \mu_0$

Ορίζουμε τη μαγνητική επιδεκτικότητας χ_m ως εξής:

$$\chi_m = \mu/\mu_0 - 1.$$

TABLE 28–1 Paramagnetism and Diamagnetism: Magnetic Susceptibilities

Paramagnetic substance	χ_m	Diamagnetic substance	χ_m
Aluminum	2.3×10^{-5}	Copper	-9.8×10^{-6}
Calcium	1.9×10^{-5}	Diamond	-2.2×10^{-5}
Magnesium	1.2×10^{-5}	Gold	-3.6×10^{-5}
Oxygen (STP)	2.1×10^{-6}	Lead	-1.7×10^{-5}
Platinum	2.9×10^{-4}	Nitrogen (STP)	-5.0×10^{-9}
Tungsten	6.8×10^{-5}	Silicon	-4.2×10^{-6}