

Corrientes o flujos de líquidos y gases

Soluciones de los ejercicios

2. 1 bar
- 3a. El aire fluye del neumático pequeño al grande, durante el tiempo necesario hasta que las dos presiones se igualen (equilibrio de presiones).
- 3b. La presión final estará más cerca de 1 bar.
- 3c. En el neumático grande.
4. 6 l/min
5. No. La velocidad del flujo también depende, además de la intensidad de flujo, de la sección del tubo.
6. 10 m³/s
- 7a. También 10 l/s. Toda el agua que entra al tubo por el lado izquierdo, tiene que salir nuevamente en el lado derecho.
- 7b. La resistencia del segmento del tubo comprendido entre el lugar del estrechamiento y el extremo derecho es menor que entre el extremo izquierdo y el lugar del estrechamiento, porque el segmento derecho es más corto y más grueso. Para que, en el segmento derecho, exista el mismo flujo que en el izquierdo, basta con que exista un pequeño empuje, una pequeña diferencia de presión.

Experimentos

1. Medimos diferentes presiones:

- En un neumático de auto (con un medidor adquirido en el comercio).
- En la red de agua potable (manómetro con un alcance de unos 10 bar).
- En un balón de gas (del laboratorio de Química).
- En la campana de vacío.
- La presión atmosférica normal (con un barómetro).

2. En una manguera delgada, de unos 3 m de largo, hacemos, siempre a la distancia de 1 metro, pequeñas perforaciones de 1 mm de diámetro. Conectamos la manguera a la llave de agua y abrimos la llave. De cada perforación salta ahora un chorrito de agua, cuya altura es una medida para la presión existente en la manguera. A partir de la llave, la presión disminuye constantemente, entonces el agua fluye desde un lugar de mayor a otro de menor presión.

3. Hacemos entrar aire a la campana de vacío, en que, previamente, se ha extraído el aire.

4. Unimos dos neumáticos de automóvil inflados, de tamaño muy diferente y que contienen aire a diferentes presiones, mediante una manguera. El aire fluye del uno al otro, hasta que las presiones se igualen. Necesitamos dos conexiones con válvulas (adquirir, eventualmente, en un servicentro).

5. Presentamos diferentes tipos de bombas. Las hacemos funcionar y las mostramos en estado desarmado. Por ejemplo, la bomba centrífuga de una lavadora vieja y la bomba que se puede comprar, eventualmente, como, artefacto adicional a un taladro eléctrico.

6. Medimos la intensidad de flujo del agua que sale de una llave abierta, usando probeta graduada y cronómetro.

7. Medimos la intensidad de flujo del aire que sale de un neumático de automóvil, haciéndolo pasar a una bolsa de plástico de volumen conocido.

8. Para investigar la relación cualitativa que existe entre la intensidad de flujo y la diferencia de presión y el largo y diámetro del conductor, llenamos, a través de una manguera, una bolsa plástica con el aire proveniente de un neumático de automóvil inflado. Con un cronómetro determinamos el tiempo de llenado que es, simultáneamente, la medida para la intensidad de flujo. Comparamos siempre las dos situaciones a y b:

- Aire proveniente de un neumático con alta presión (a) y baja presión (b). Podemos usar el mismo neumático, sacándole un poco de aire entre uno y otro experimento.
- Manguera larga, de unos 3 m (a), y corta, de unos 20 cm (b). Las dos mangueras deben ser delgadas (unos 3 mm de diámetro interior), pero tener el mismo diámetro y estar conectadas a neumáticos con la misma presión.
- Manguera delgada (a) y gruesa (b). Las dos mangueras deben tener el mismo largo y estar conectadas a neumáticos con la misma presión.

9. Para mostrar la dependencia de la resistencia del largo y del diámetro del conductor, podemos pedirles a los alumnos que soplen (o que tomen líquido) a través de pajitas de diferente grosor y largo.

10. En una máquina de vapor de juguete, conectamos una manguera en la entrada de agua a la caldera y otra en la salida del vapor en el cilindro.

Hacemos funcionar la máquina en las siguientes condiciones:

- Entre un neumático inflado y el ambiente.
- Entre un neumático inflado y otro vacío.
- Entre el ambiente y la campana con vacío.

Siempre hacemos funcionar la máquina hasta que se establezca el equilibrio de presiones.

Observaciones

1. En este capítulo se introducen conceptos y relaciones estructurales que, en las clases posteriores, se volverán a utilizar constantemente.

Las situaciones examinadas, tales como flujos de agua y de aire, son absolutamente familiares para los alumnos. No solo podemos ver el agua misma, sino, incluso, podemos apreciar visualmente su flujo. También con respecto a los flujos de aire, existen ideas absolutamente claras y concretas.

Mientras que, en este capítulo, estamos considerando únicamente flujos de tipo material, los flujos que aparecerán en el curso de nuestros estudios posteriores, representarán conceptos mucho más abstractos, es decir flujos de magnitudes físicas. Sin embargo, los conceptos y sus relaciones y, muy especialmente la visualización intuitiva elaborada por los alumnos acerca de los fenómenos introducidos en este capítulo, podrán ser transferidos, posteriormente y en forma muy fácil, al estudio de los flujos de magnitudes físicas.

2. Los conceptos y las relaciones que aparecerán, en forma repetitiva, en el curso de los estudios posteriores, son los siguientes:

- *Intensidad de flujo*: La cantidad de una sustancia o de una magnitud física extensiva que fluye, en un tiempo determinado, por un lugar determinado, dividido por este mismo tiempo.
- *Impulso*: Diferencia de los valores de una magnitud intensiva. Mientras mayor sea el impulso, mayor será la intensidad de flujo.
- *Resistencia*: Una particularidad del conductor, que depende de su longitud y sección.
- *Equilibrio*: Situación en que no hay flujo, a pesar de la existencia de una conexión conductora. No hay impulso.
- *Regla de los nudos* (o nodos): Expresión de la ecuación de continuidad para el caso en que no existe ni generación ni pérdida.
- *Regla de las mallas*: A cada punto del conductor se le puede asignar un valor de la magnitud intensiva.
- *Portador de energía*: El flujo de una sustancia o de una magnitud extensiva se correlaciona siempre con un flujo de energía.

3. Como medida para la cantidad de los líquidos y gases examinados usamos su volumen. Sin embargo, hablamos de flujos de agua o de aire y no de “flujos de volumen”, porque esta magnitud no existe.

4. Ya que, junto con un flujo de materia, también fluye una cierta cantidad de magnitudes físicas, existen, igualmente, una serie de impulsos posibles para un flujo de materia determinado. Junto con cada magnitud extensiva que fluye con la sustancia, existe una magnitud intensiva, y un gradiente de esta magnitud intensiva puede ser el causante del flujo de sustancia. De esta manera, un flujo de líquido no solo puede ser causado por una diferencia de presión, sino por ejemplo, también por una diferencia del potencial gravitacional, es decir, el líquido fluye, por sí solo, desde arriba hacia abajo.

Para evitar situaciones ambiguas, en este capítulo se consideran únicamente dispositivos en que no intervienen otros impulsos que la diferencia de presión.

5. No se relaciona, como es la costumbre general, la presión con la fuerza (“presión igual a fuerza dividida por superficie”), porque la fuerza es, sin duda, una magnitud difícil de entender. Un problema grande y que dificulta mucho el uso del concepto de fuerza, es la cuestión del signo y del sentido y, relacionado con ellos, los conceptos de fuerza contraria y equilibrio de fuerzas. En este sentido, el concepto de presión es mucho más fácil, ya que aparece, por lo menos en nuestros ejemplos, como magnitud escalar cuyo valor está relacionado con un punto determinado en el espacio. No necesitamos indicar quién presiona sobre qué cosa, como sería el caso de una fuerza. En nuestros ejemplos de flujos de gases y líquidos, los valores de las presiones correspondientes son, además, siempre positivos.

La prioridad didáctica de los flujos o corrientes

En el nuevo curso de física, el concepto de flujo o corriente juega un papel absolutamente fundamental, similar al que tiene, en la enseñanza tradicional de la física, el movimiento de un objeto individual o masa puntual. De todas maneras, podemos considerar un flujo y un movimiento como conceptos emparentados, porque el movimiento de un objeto, descrito en forma tradicional, puede ser considerado como situación límite de un flujo hecho pedazos, de manera que se transforme en fila india. En el nuevo curso de física podremos hablar, entonces, de un movimiento en el sentido tradicional, cuando hacemos pedazos los flujos para transformar, de esta manera, un fenómeno continuo en otro intermitente. Entender y describir los fenómenos como flujos o corrientes es, entonces, una idea fundamental del nuevo curso de física. Al manejar estos flujos, tendremos que imaginarnos de que algo o alguna sustancia está fluyendo y llegaremos, finalmente, al concepto de magnitud extensiva. Los flujos y las corrientes forman parte importante de nuestra vida diaria. Así, dependemos de un abastecimiento constante de alimentos, o sea, nos tiene que llegar, constantemente, un flujo de ellos. Nuestro auto depende, de la misma manera, del abastecimiento, o sea, de un flujo de combustible, y el buen funcionamiento de la casa, de un flujo de electricidad, de agua y de combustible. En realidad, estos flujos no tienen siempre la misma intensidad, pero al considerar intervalos de tiempo suficientemente largos, los podemos transformar en flujos estacionarios y “verdaderos”. Didácticamente, conviene, por supuesto, interpretar un flujo, en primera instancia, a través de una sustancia que fluye, como el flujo de petróleo en el oleoducto; el flujo de bencina que llega al motor del auto; el flujo de alimentos ingeridos por el animal o el flujo luminoso que llega a la planta; el flujo de agua del río; el flujo de los automóviles en una carretera o el flujo de seres humanos que ingresan al estadio. Desde el punto de vista físico, es totalmente aceptable que consideremos los flujos de materia como los mismos flujos portadores definidos científicamente. Un flujo de materia es, físicamente, un haz de flujos de magnitudes extensivas que llevan, en conjunto, el flujo energético. De esta manera, los flujos de materia pueden ser considerados, justamente, como los reemplazantes propedéuticos más indicados de las magnitudes físicas extensivas abstractas.

GUÍAS PARA EL PROFESOR

18. El campo magnético

Comentarios

1. Los campos como entes concretos

Se considera importante introducir los campos como sistemas físicos que deben ser tomados en serio. En primer lugar, esto corresponde a la concepción de la moderna teoría de campos y en segundo lugar es de fácil comprensión (Herrmann 1989, 1990).

Maxwell definió el campo eléctrico como "...el espacio en el entorno de un cuerpo electrizado, en tanto en él se desarrollen los fenómenos eléctricos." Las formulaciones con las cuales se acostumbra hoy en día definir un campo recuerdan mucho aún a la definición dada por Maxwell. Con mucha frecuencia se describe el campo como *región del espacio* en que algo ocurre, o en el cual actúan determinadas fuerzas. Sin embargo, tal descripción se comprende mal hoy en día. Era muy diferente en los días de Maxwell. Para Maxwell y sus contemporáneos todo el espacio estaba lleno de un cierto medio, el éter. El espacio y el éter eran idénticos. Por consiguiente, el campo no era otra cosa que un estado particular de ese medio. Pero como entretanto hemos desterrado el éter de la física, la citada formulación de Maxwell se vuelve extraordinariamente antiintuitiva.

2. Acciones magnéticas y eléctricas a distancia

Formulaciones tales como "polos de igual denominación se repelen, polos de distinta denominación se atraen" se remontan a tiempos anteriores a Faraday, tiempos en que las interacciones se describían aún como acciones a distancia. Aunque desde hace más de 100 años ningún científico cree en tales acciones, todavía usamos las antiguas formulaciones y fomentamos con ello naturalmente las antiguas concepciones. Como la descripción mencionada de la interacción magnética es conocida por muchos escolares aún antes de la educación media, la adoptamos para comenzar, pero inmediatamente la reemplazamos por una formulación de acción próxima: "Polos de igual denominación son repelidos por su campo magnético, polos de distinta denominación son atraídos." Para la interacción eléctrica vale una declaración similar.

3. Dos especies de polos magnéticos

La carga magnética es una magnitud que puede tomar valores tanto positivos como negativos. Por lo general, esto se expresa diciendo que hay dos especies de polos magnéticos: los polos norte y los polos sur. Esta forma de expresión es engañosa. Sugiere que la carga magnética se manifiesta en dos calidades, que son, p. ej., tan distintas como las calidades "masculino" y "femenino". También cuando se dice de polos que tienen cargas magnéticas del mismo signo que son "de la misma denominación", y de polos con cargas magnéticas de distinto signo que son "de distinta denominación", se fomenta la idea de que hay dos especies de carga magnética. Por lo demás, en una clase de matemáticas tampoco se usaría la siguiente frase: "El producto de dos números de igual denominación es positivo, el producto de dos números de distinta denominación es negativo."

4. La representación gráfica de los campos

Se emplean líneas de campo para representar gráficamente un ente invisible, un campo. La representación mediante líneas de campo tiene la ventaja, sobre otras representaciones, de contener mucha información cuantitativa sobre el campo. Tiene la desventaja de dar la impresión de que el campo, como entidad, sólo tiene continuidad en una dirección, la dirección de las líneas de campo. (Se podría representar un campo estático igualmente bien mediante las superficies equipotenciales ortogonales a las líneas de campo. Entonces probablemente se crearía la impresión de que el campo es sólo continuo en direcciones perpendiculares a las intensidades de campo.) Para evitar esa impresión, empezamos con otras representaciones: gradaciones de gris, puntos, flechas. Por lo demás, en el marco de la primera parte de la enseñanza media no hay razón convincente para considerar mejor la representación con líneas de campo que con flechas, pues la información cuantitativa contenida en las líneas de campo no ha sido tratada aún en la materia del curso. Las líneas de campo expresan lo que el físico llama divergencia nula del campo. Esta, sin embargo, no puede formularse aún en el nivel de entrada a la enseñanza media.

5. ¿Intensidad de campo magnético o densidad de flujo?

Aunque en la enseñanza media el campo magnético no se describe cuantitativamente, es decir, mediante magnitudes vectoriales \mathbf{H} o \mathbf{B} , el profesor debe tener claridad acerca de cuál de ambas magnitudes está siendo tratada cuando habla del campo, pues aún ciertas afirmaciones cualitativas acerca del campo dependen de esta elección. Cada una de estas magnitudes tiene sus ventajas (Herrmann, 1991). Al usar \mathbf{H} se simplifica significativamente la magnetostática. La estructura de la magnetostática resulta entonces enteramente análoga a la estructura de la electrostática. Tal como en la electrostática se puede decir que las líneas del campo \mathbf{E} empiezan en cargas positivas y terminan en cargas negativas, en la magnetostática vale que las líneas del campo \mathbf{H} empiezan en cargas de polo norte y terminan en cargas de polo sur. Y, exactamente como los metales en su interior no tienen campo \mathbf{E} , los materiales magnéticos blandos no tienen en su interior campo \mathbf{H} (pero pueden tener campo \mathbf{B}). Las declaraciones de la magnetostática acerca de la densidad de flujo \mathbf{B} son más complicadas. En particular, las líneas de campo \mathbf{B} no revelan fácilmente dónde están los polos de un imán. Aquí resulta apropiada una observación relativa a los colores de los imanes permanentes. Se acostumbra dar a una mitad de una barra imán el color rojo, a la otra, el verde. Esto sugiere que la mitad roja es un polo y la verde el otro, o también que la superficie de la parte roja es un polo y la superficie de la parte verde, el otro. De hecho, los polos se encuentran sólo en las caras frontales de los imanes. Sólo estas superficies deberían pintarse. Esta coloración equivocada podría deberse a un malentendido. Los polos de un imán *no* son los lugares en que lo penetran las líneas de \mathbf{H} o \mathbf{B} (fuera del imán ambas magnitudes pueden aún identificarse), sino aquellos lugares en que el campo de magnetización \mathbf{M} , y por consiguiente la intensidad de campo \mathbf{H} , presentan divergencias.

En tanto que la magnetostática es más sencilla cuando se describe el campo mediante la intensidad \mathbf{H} , la descripción de la inducción se hace más sencilla cuando se emplea \mathbf{B} . El valor de una tensión inducida depende de la variación del flujo del campo vectorial \mathbf{B} . Ahora, como \mathbf{B} es la suma de intensidad de campo y magnetización (a la aproximación de un factor constante),

$$\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M}),$$

una tensión inducida, cuando no se emplea \mathbf{B} , puede tener dos causas, a saber, primero una variación temporal de la intensidad de campo \mathbf{H} , y segundo, una variación temporal de la magnetización \mathbf{M} . En la enseñanza media avanzada con seguridad convendrá operar con \mathbf{H} y con \mathbf{B} : en la magnetostática con \mathbf{H} y en la inducción con \mathbf{B} . En la enseñanza media inicial, por el contrario, esto no es posible porque no se puede formular la relación ent-

re \mathbf{H} y \mathbf{B} . Por lo tanto, hay que decidir entre \mathbf{H} y \mathbf{B} .

Nos hemos decidido por las ventajas en la magnetostática, es decir, por \mathbf{H} . Con esto la inducción se complica de modo poco significativo.

6. La magnetización

La magnetización es un campo vectorial que describe el estado de magnetización de la materia. Las fuentes y sumideros de este campo son lo que llamamos polos magnéticos. Ello significa que podemos interpretar estas fuentes y sumideros también como "densidad de carga magnética" ρ_m :

$$\rho_m = -\operatorname{div} \mathbf{M}$$

Cuando se conoce el campo de magnetización de un cuerpo, se sabe dónde se encuentran los polos. En cambio, a partir de la distribución de polos no se puede deducir la trayectoria de las líneas de magnetización. La relación entre campo de magnetización y distribución de polos es tan sencilla que fácilmente se la puede discutir en clase. Al tratar la magnetización queda en claro que cuando un cuerpo se magnetiza se transforma todo el cuerpo, y no sólo los lugares en que se encuentran los polos. Así se comprende también que cuando se quiebra un imán aparecen nuevos polos. Además el tratamiento de la magnetización es importante con miras a los cursos superiores: la intensidad de campo magnético y la magnetización forman juntos lo que después se llamará densidad de flujo.

7. Dos experimentos de inducción

Cuando se trata la inducción se distingue a veces entre dos casos:

1. Se introduce un imán permanente en una bobina que permanece en reposo.
2. Una bobina se empuja sobre un imán permanente en reposo.

Por supuesto que en ambos casos se trata del mismo experimento. Solamente se le describe en distintos sistemas de referencia. Nuestra experiencia docente indica que a ningún escolar de la secundaria inicial se le ocurre que aquí se trata de experimentos diferentes. De hecho pueden aparecer dificultades lógicas recién cuando se trata de describir el problema con ayuda de intensidades de campo, es decir, matemáticamente. Recién entonces parecen ser diferentes los experimentos, pues en uno de ellos aparece una derivada con respecto al tiempo de la intensidad del campo magnético, y en el otro no. Entonces hay que demostrar que las intensidades de campo se transforman de tal manera cuando se cambia de sistema de referencia, que los efectos observables son los mismos. En tanto que no se pretenda una descripción matemática de la inducción, la distinción entre ambos experimentos simplemente aparece como antinatural.

8. Bibliografía

HERRMANN, F.: Energy density and stress: A new approach to teaching electromagnetism. *Am. J. Phys.* 57, 707 (1989).

HERRMANN, F.: Felder als physikalische Systeme. *MNU* 43/2, 114 (1990).

HERRMANN, F.: Teaching the magnetostatic field: Problems to avoid. *Am. J. Phys.* 59, 447 (1991).

Experimentos

Párrafo 18.1

1. Se muestra atracción y repulsión entre polos magnéticos.
2. Se experimenta con un imán permanente y con piezas de material magnético blando, p. ej. clavos.
3. Se calienta un imán de cerámica en el mechero Bunsen. El imán pierde su magnetización.
4. Se magnetiza un palillo de tejer.

Párrafo 18.2

En algunos de los siguientes experimentos hay que notar que algunos “imanes en herradura” vendidos para experimentos escolares no están hechos completamente de materiales magnéticos duros. Por consiguiente, en estos imanes los polos se pueden desplazar libremente.

1. Ver figuras 18.6 y 18.7 en el texto escolar. Como las cargas de polos de ambos imanes no son exactamente iguales, y además los polos no se encuentran necesariamente justo en las caras frontales, las cargas magnéticas pueden no compensarse completamente. Por eso se usa un cuerpo de hierro muy pesado, por ejemplo el núcleo de un transformador. Objetos más livianos podrían quedar colgados aún del imán compuesto.
2. Se pesquisa la distribución de polos de imanes complicados, por ejemplo imanes con más de dos polos.

Párrafo 18.3

Se quiebra un palillo imantado para mostrar que se forman nuevos polos. Se juntan barras imanes en sentido longitudinal para mostrar cómo desaparecen polos.

Párrafo 18.4

1. Se muestra con diversos experimentos que para

transmitir momentum de un cuerpo a otro se necesita una conexión. (ver texto escolar).

2. Se transmite momentum de un carro (o jinete) a otro por vía de un campo magnético. Para ello se monta en cada carro un imán permanente.

3. Un experimento muy simple, pero sugerente: unos alumnos intentan juntar dos imanes muy fuertes por sus polos de igual signo. Se siente que hay algo entre los imanes.

Párrafo 18.5

1. Mediante agujas imantadas (brújulas) se muestra la distribución de direcciones de algunos campos magnéticos.

2. Se visualizan distribuciones de campo mediante limaduras de hierro.

Párrafo 18.6

1. Se puentean los polos de un imán en herradura con una varilla de hierro blando. El “anillo” resultante ya no atrae clavos (pesados).

Párrafo 18.7

1. Se muestra que el campo magnético traspasa algunas sustancias pero no otras, p. ej. con la disposición descrita en el texto escolar.

2. Se ponen piezas de material magnéticamente blando en proximidad a un imán fuerte y se examina la distribución de polos en ese material, p. ej. viendo en qué lugares del material blando queda colgado un pequeño clavo (ver texto escolar figuras 18.26 y 18.27).

Párrafo 18.9

1. Por dos alambres que cuelgan muy cerca el uno del otro pasa una corriente eléctrica; los alambres se atraen o se repelen según el sentido de la corriente. Para obtener una corriente intensa, lo mejor es tomar una batería de automóvil.

2. Se pesquisa la distribución de direcciones del campo magnético en el entorno de un alambre por el cual pasa una corriente eléctrica.

3. Se muestra que al enrollar un alambre largo en forma de bobina, con igual intensidad de corriente eléctrica se puede producir un campo magnético más denso.

4. Se investiga el campo de una bobina cilíndrica, con limaduras de hierro o con agujas imantadas (brújulas).

Párrafo 18.10

1. Ver figuras 18.36 y 18.37 y el texto correspondiente.

2. Se muestra que, cuando se invierte el sentido de la corriente en un electroimán, los polos del núcleo de hierro se intercambian.

3. Se muestran las interacciones entre

- un electroimán y un imán permanente (fig. 18.40)
- un electroimán y un trozo de hierro blando (fig. 18.41)
- dos electroimanes (fig. 18.42).

4. Se muestran modelos, eventualmente de construcción propia, para diversos aparatos en que se emplean electroimanes, p. ej. la campanilla eléctrica, el ampérmetro, un interruptor automático.

5. Se arma un circuito con un relé (relevador).

Párrafo 18.11

1. Se arma el modelo, descrito en el texto escolar, de un motor eléctrico “de control manual”. Hay también otras versiones posibles, p. ej. con tres bobinas que, una tras otra, se conectan y desconectan.

2. Se muestra el modelo de motor eléctrico de la colección de la escuela.

Párrafo 18.12

Se suspende una barra imán de modo que pueda girar con facilidad. El imán toma la dirección nort-sur.

Párrafo 18.13

1. Se conecta un voltmetro a una bobina. Se introduce un imán en la misma. Después se le saca. Se cortocircuita la bobina con un ampérmetro y se repite el experimento.

2. Se repite el experimento con bobinas de distinto número de vueltas y con imanes de distinta fuerza.

3. En vez de conectar un voltmetro se conecta un osciloscopio. Se mueve el imán muy rápidamente.

4. En vez de mover un imán permanente, se conecta y desconecta un electroimán.

5. La bobina de inducción se empuja sobre un núcleo de hierro. En los extremos del núcleo se agregan trozos de hierro blando, hasta formar una “U”. Se puede alargar mucho la U usando más trozos de hierro blando. El experimento resulta entonces más impresionante. Se mueve un imán permanente entre los extremos de la U alargada. Se induce una tensión, aunque el campo del imán permanente seguramente no alcanza hasta la bobina.

Párrafo 18.14

1. Se hace andar el modelo de motor eléctrico, de

construcción propia, como generador.

2. Se muestra el modelo de generador de la colección de la escuela.

Párrafo 18.15

1. Ver fig. 18.55 y el texto correspondiente.

2. Se muestra la validez de la relación

$$U_1 / U_2 = n_1 / n_2 .$$

3. Se muestra, con un transformador de buena calidad, la validez aproximada de

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

Para ello, hay que hacer funcionar el transformador a carga media.

Párrafo 18.16

Ver fig. 18.58 y el texto correspondiente.

Párrafo 18.17

1. Se acerca un superconductor a un campo magnético que presenta una depresión. El superconductor permanece suspendido.

2. Se coloca el “superconductor” sobre los imanes cuando aún está en estado normal, y recién entonces se le enfría. El superconductor se eleva por sí mismo.

Soluciones de las tareas

Párrafo 18.1

Se toma un tercer imán, se acerca sucesivamente a todos los polos de los otros dos imanes. Se comprueba así que los otros dos imanes se comportan de idéntica manera.

Párrafo 18.9

1. Se enrollan dos alambres paralelos para formar una bobina. Se unen dos de los extremos en tanto que los otros dos se conectan a la fuente de energía, de tal manera que la corriente eléctrica fluye en sentidos contrarios por los alambres. El efecto de uno de los alambres queda entonces compensado por el efecto del otro.

2. El campo hace que vueltas (espiras) vecinas se atraigan. El campo presiona hacia afuera las partes de una misma vuelta (espira).

Párrafo 18.10

1. Desvío del tren de juguete, desvío de tranvía,

imán en la grúa del depósito de chatarra.

2. Similar a la usual campanilla de corriente continua, pero sin interruptor.

3. En realidad al imán permanente la gustaría girar de uno a otro lado muy rápidamente. Pero tiene demasiada inercia para hacer este movimiento. Cuando se reemplaza el imán permanente con un trozo de hierro blando, se obtiene un ampérmetro de corriente alterna.

Párrafo 18.11

1. El motor no parte por si mismo. Sólo puede girar con una velocidad bien determinada: a 50 vueltas por segundo.

2. Los imanes fijos son electroimanes. Están permanentemente conectados a la fuente de energía, es decir, no se les invierte la polaridad. El rotor es el mismo que en la figura 18.46.

Párrafo 18.12

1. Las piezas de hierro forman polos debido al campo magnético terrestre. Eso altera el campo terrestre.

2. Se orientan paralelamente el uno al otro. Su dirección común no es necesariamente la norte-sur.

Párrafo 18.13

1. Hay que mover el imán lo más rápidamente posible; hay que usar un imán muy fuerte (la mayor carga magnética posible); la bobina debe tener el mayor número posible de vueltas.

2. Un golpe corto de tensión de un signo dado e inmediatamente después un golpe de tensión de signo contrario.

Párrafo 18.15

1. Datos: número de vueltas: 1000 y 5000
 $U_1 = 220 \text{ V}$

Se pide: U_2

$$U_1/U_2 = n_1/n_2 \gg \gg U_2 = (n_2/n_1)U_1$$

Con $n_2/n_1 = 5000/1000 = 5$
 resulta $U_2 = 1100 \text{ V}$.

Con $n_2/n_1 = 1000/5000 = 0,2$
 resulta $U_2 = 44 \text{ V}$.

2. Datos: $U_1 = 220 \text{ V}$
 $U_2 = 11 \text{ V}$
 $I_2 = 2 \text{ A}$

Se pide: n_1/n_2
 I_1

$$n_1/n_2 = U_1/U_2 = 220\text{V}/11\text{V} = 20$$

El número de vueltas del secundario es la vigésima parte del número de vueltas del primario.

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \gg \gg I_1 = U_2 I_2 / U_1 \\ = 11\text{V} \cdot 2\text{A} / 220\text{V} = 0,1 \text{ A}$$

3. Datos: $n_1 = 1000$
 $n_2 = 10\ 000$
 $U_1 = 220 \text{ V}$
 $I_1 = 0,1 \text{ A}$

Se pide: U_2, I_2

$$U_2 = (n_2/n_1)U_1 = (10000/1000) \cdot 220\text{V} = 2200 \text{ V}$$

$$I_2 = U_1 I_1 / U_2 \\ = 220\text{V} \cdot 0,1\text{A} / 2200\text{V} = 0,01 \text{ A} = 10 \text{ mA}$$

4. Las conexiones de alimentación deben ser de alambre muy grueso, para soportar 10 000 A sin calentarse. Las conexiones secundarias deben estar muy bien aisladas para soportar 10 000 V sin que salten chispas. Es más barato aislar bien los conductores (torres de alta tensión) que usar conductores muy gruesos.