

Лабораторне заняття 8. Методика розроблення лабораторних робіт з фізики та астрономії.

Завдання. Підготувати методичні рекомендації щодо розроблення лабораторних робіт з фізики та астрономії або створити авторські роботи

Методичні матеріали

(Зразок авторської лабораторної роботи для аналізу)

ВИМІРЮВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ ІНДУКЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ



11.1. Теоретичні відомості.

У першому наближенні Земля являє собою величезний магніт, полюси якого знаходяться поблизу географічних полюсів, при цьому Південний магнітний полюс (S) знаходиться у північній півкулі, а Північний магнітний полюс (N) – у південній. Магнітні полюси зміщені по відношенню до осі обертання Землі приблизно на $11,5^\circ$.

Магнітне поле Землі можна зобразити графічно за допомогою ліній магнітної індукції (у будь-якій їх точці вектор магнітної індукції $\vec{B}$ спрямований по дотичній до лінії у цій точці). Поблизу екватора ці лінії спрямовані горизонтально, а на магнітних полюсах Землі – майже вертикально.

Кут α , під яким лінія магнітної індукції (вектор магнітної індукції $\vec{B}$) у даній точці спрямована до горизонту, називається кутом магнітного *нахилення* (рис. 11.1, *а*). Напрямок горизонтальної складової індукції магнітного поля $B_{\text{гор}}$ приймається за напрямок магнітного меридіана, а вертикальна площина, яка через нього проходить, називається площиною магнітного меридіана. Кут β між географічним і магнітним меридіанами називається кутом магнітного *схилення* (рис. 11.1, *б*).

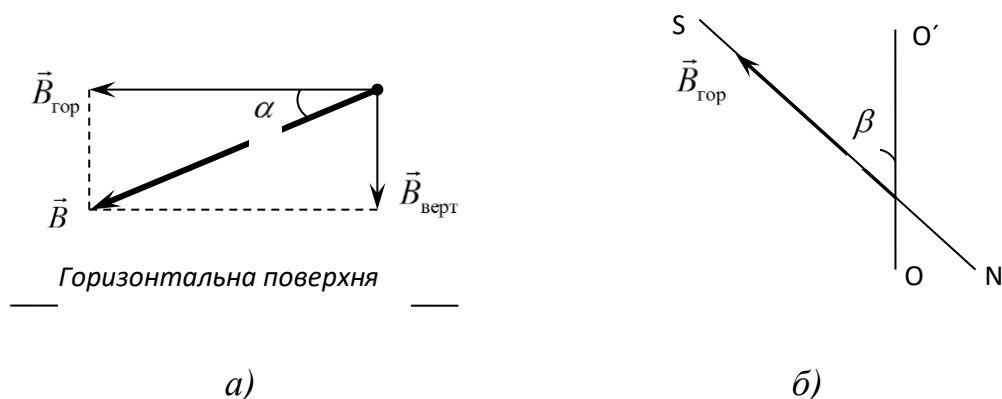


Рис. 11.1. Кути магнітного нахилення α (*а*) та схилення β (*б*):

NS – магнітний меридіан, OO' – географічний меридіан

Вимірювання кута магнітного нахилення α у різних точках Землі дозволили зробити висновок про те, що магнітний “диполь” (“магніт”) знаходиться у глибині

Земної кулі, а саме в її ядрі. Магнітне поле Землі створюється струмами, які протікають в її ядрі.

При більш точному розгляді земного магнетизму є помітними відхилення від дипольного поля. Вони виникають, головним чином, за рахунок світових (материкових) аномалій магнітного поля. Найбільшими з них є такі: *Східно-Сибірська* аномалія, яка підвищує магнітну індукцію поля в окремих районах Сибіру до значення, яке перевищує значення магнітної індукції на Південному магнітному полюсі; *Південно-Атлантична* (або *Бразильська*) аномалія з різко зниженими значеннями індукції поля.

Окрім світових аномалій, є багато локальних (місцевих) аномалій. Наприклад, *Магнітогорська* та *Курська*, у межах яких магнітна індукція поля гірських порід може перевищувати індукцію нормального земного поля. Проте, через малі розміри місцеві аномалії практично не впливають на глобальний розподіл магнітного поля планети.

Магнітне поле Землі виступає своєрідним захистом для всього живого від потоків заряджених частинок із космосу. Швидкі заряджені частинки (електрони, протони, α -частинки тощо), які викинуті Сонцем, утворюють так званий “сонячний вітер”. У магнітному полі Землі траєкторія руху заряджених частинок змінюється, і вони огинають Землю. На відстанях приблизно від 500 до 60 000 км заряджені частинки рухаються, немов би навіваючись на лінії індукції магнітного поля Землі, здійснюючи коливання від одного до іншого полюса за 0,1 – 1 с. Ця область космосу називається *радіаційним поясом* Землі. Лише у полярних областях незначна кількість цих частинок проникає з радіаційного поясу у верхні шари атмосфери і викликає *полярні сяйва*.

Вимірювання індукції магнітного поля Землі є досить важливою науково-технічною задачею. Так, розташування на Землі неоднорідностей магнітного поля дозволяє проводити розвідку корисних копалин. Легше за все виявляються великі скупчення магнітних руд. Але оскільки поклади феромагнітних порід часто пов’язані із родовищами інших корисних копалин, магнітна розвідка застосовується для пошуку нафти, вугілля, поліметалічних руд.

Розглянемо далі один з методів вимірювання горизонтальної складової індукції магнітного поля Землі.



11.2. Експериментальна частина.

З а в д а н н я . Виміряти горизонтальну складову індукції магнітного поля Землі за допомогою тангенс-гальванометра.

О б л а д н а н н я : тангенс-гальванометр, джерело постійного струму, амперметр, реостат, перемикач двополюсний, з’єднувальні провідники.

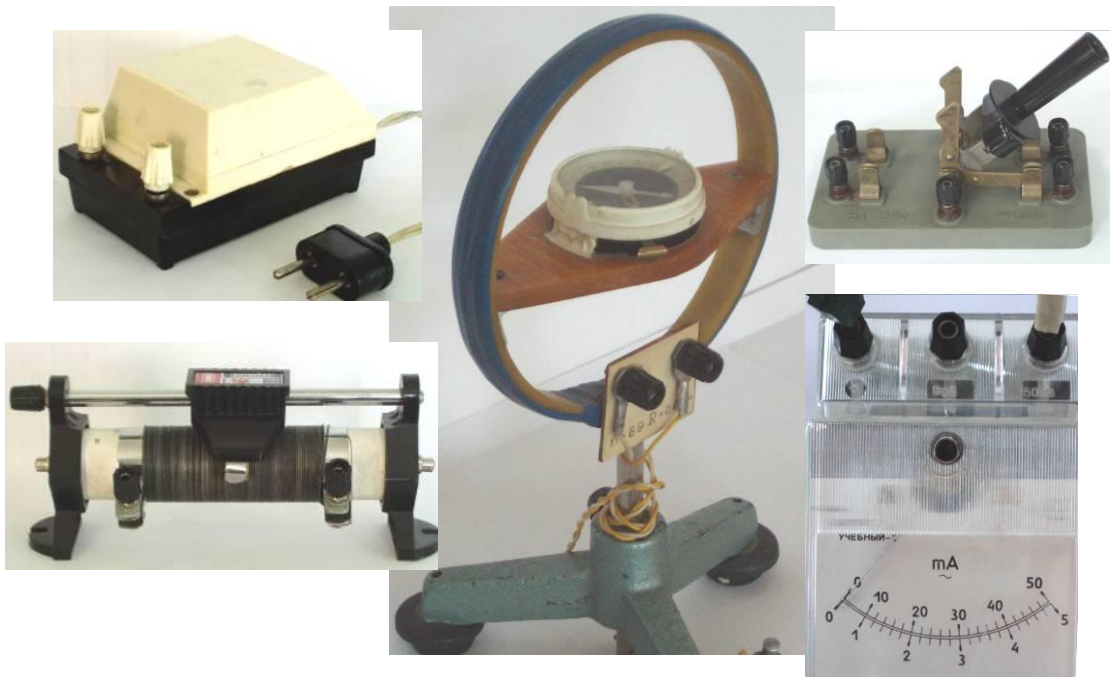


Рис. 11.2. Деякі пристрої, що використовуються при виконанні дослідів

Метод тангенс-гальванометра. Магнітна стрілка, яка має змогу повертатися лише навколо вертикальної осі, буде відхилятися в горизонтальній площині під дією горизонтальної складової $B_{гор}$ магнітного поля Землі. Ця властивість магнітної стрілки використовується для визначення $B_{гор}$ у спеціальному приладі – *тангенс-гальванометрі*.

Прилад складається з короткої циліндричної котушки, що має N витків радіусом R (витки лежать у вертикальній площині), та компаса, який розміщено у горизонтальній площині в центрі котушки. (Знайдіть фотографію тангенс-гальванометра на рис. 11.2.) При відсутності струму у котушці магнітна стрілка компаса буде розташована вздовж напрямку горизонтальної компоненти земного магнітного поля, тобто в площині магнітного меридіана.

Перед початком роботи тангенс-гальванометр встановлюють так, щоб витки котушки лежали у площині магнітного меридіана. При цьому площини витків будуть паралельні до напрямку магнітної стрілки компаса.

Якщо тепер пропускати електричний струм через витки котушки, то в її центрі вектор індукції магнітного поля котушки $\vec{B}_\kappa$ буде перпендикулярний до індукції земного поля.

Для короткої стрілки компаса магнітне поле в центрі кругового струму можна вважати однорідним. Стрілка приладу розташується вздовж результуючої індукції магнітних полів Землі і котушки. Згідно з рис. 11.3

$$B_{\text{зор}} = B_\kappa \operatorname{ctg} \alpha. \quad (11.1)$$

На підставі закону Біо – Савара – Лапласа величину B_κ в центрі котушки можна зв'язати із силою струму I у її витках формулою:

$$B_\kappa = \frac{\mu_0 I}{2R} N, \quad (11.2)$$

де μ_0 – магнітна стала, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

Отримаємо останню формулу. Розглянемо круговий струм силою I . Виділимо на ньому лінійний елемент струму $Id\vec{l}$ (рис. 11.4). Згідно із законом Біо – Савара – Лапласа елемент струму $Id\vec{l}$ у довільній точці спостереження створює магнітне поле, індукція $d\vec{B}$ якого визначається формулою

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{[Id\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}, \quad dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{r^2} dl \sin \varphi,$$

де $\vec{r}$ – радіус-вектор, проведений з елемента струму в розглядувану точку поля;

φ – кут між $Id\vec{l}$ та $\vec{r}$, у випадку кругового струму $\varphi = \frac{\pi}{2}$, $\sin \varphi = 1$.

Очевидно, що вектори магнітної індукції кожного елемента в центрі кругового струму співпадають за напрямком. Це дає змогу окремо знайти напрямок і величину індукції результуючого магнітного поля в центрі витка. Так, за правилом гвинта знаходимо, що вектор $\vec{B}$ напрямлений перпендикулярно площині кругового струму, на спостерігача. Його модуль знайдемо, проінтегрувавши dB по всьому круговому струму:

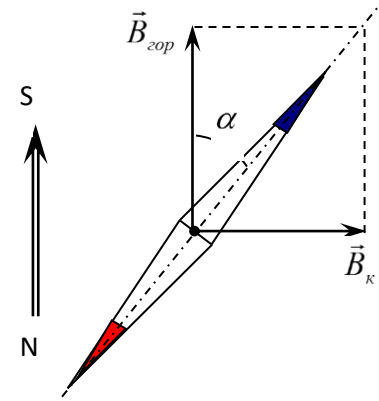


Рис. 11.3. Накладання магнітних полів Землі та витків в центрі котушки

$$B = \int_L dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_L \frac{dl}{r^2}.$$

Для кожного елемента струму r однакове і дорівнює радіуса витка $r = R$, а $dl = R d\varphi$, тому

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \int_L dl = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \int_0^{2\pi} R d\varphi = \frac{\mu_0 I}{2R}.$$

Якщо ж круговий струм створений N витками, то магнітна індукція в його центрі

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} N.$$

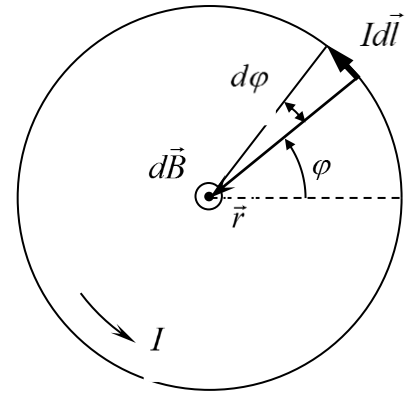


Рис. 11.4. До обчислення магнітної індукції в центрі кругового струму

Отже, підставляючи формулу (11.2) в (11.1), отримаємо вираз для визначення горизонтальної складової індукції магнітного поля Землі:

$$B_{\text{гор}} = \frac{\mu_0 IN}{2R} \text{ctg } \alpha. \quad (11.3)$$

Як правило, число витків N котушки та їх радіус указано на тангенс-гальванометрі. Тому визначення $B_{\text{гор}}$ зводиться до вимірювання кута α відхилення стрілки компаса при фіксованому значенні сили струму I у котушці (рис. 11.5).

Зазначимо, що в експерименті при одному і тому ж значенні сили струму I кут відхилення α стрілки компаса кожного разу може бути дещо іншим. Головним чином це пов'язано із тертям вісі стрілки в опорі. Тому при оцінці похибки отриманого значення $B_{\text{гор}}$ слід врахувати випадкову похибку при вимірюванні α .

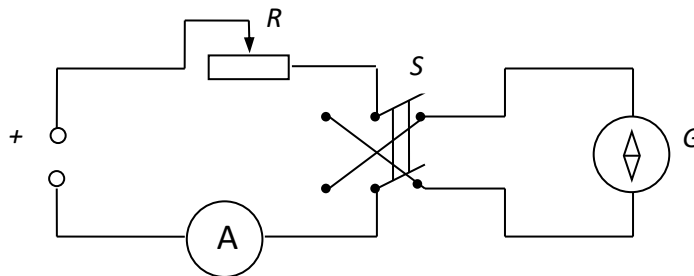


Рис. 11.5. Схема ввімкнення тангенс-гальванометра

Для цього можна, наприклад, при даному значенні I виміряти α , змінюючи кожного разу напрямок струму (полярність ввімкнення котушки) за допомогою двополюсного перемикача. Отримавши спектр значень $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$, знаходять середнє значення

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i$$

та відповідні межі абсолютної $\Delta\alpha$ та відносної ε_α похибок:

$$\Delta\alpha = \frac{3\sigma_\alpha}{\sqrt{n}}, \quad (11.4)$$

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{\Delta\alpha}{\bar{\alpha}}, \quad (11.5)$$

де σ_{α} – середнє квадратичне відхилення окремого вимірювання,

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{\alpha} - \alpha_i)^2}.$$

Похибка отриманого за формулою (11.3) значення $B_{\text{зоп}}$, у першу чергу, пов'язана із неточностями при вимірюваннях кута α (похибки при вимірюваннях сили струму I та радіуса R витків котушки порівняно малі). Тому нескладно показати, що межі абсолютної $\Delta B_{\text{зоп}}$ та відносної $\varepsilon_{B_{\text{зоп}}}$ похибок можна оцінити так:

$$\varepsilon_{B_{\text{зоп}}} \approx \varepsilon_{\text{ctg}\alpha} = \frac{2\Delta\alpha}{\sin 2\alpha}; \quad \Delta B_{\text{зоп}} = B_{\text{зоп}} \varepsilon_{B_{\text{зоп}}}. \quad (11.6)$$

Підготовчі вправи.

Рівень А

1. Які величини можна визначити за наведеними виразами? Встановіть відповідність:

- | | | | |
|---|--------------------------|---|---|
| 1 | $ q vB \sin \alpha$ | А | Модуль сили Ампера |
| 2 | $\frac{\mu_0 I}{2R}$ | Б | Магнітна індукція в однорідному ізотропному магнетикі |
| 3 | $\mu\mu_0 H$ | В | Модуль сили Лоренца |
| 4 | $BI\Delta l \sin \alpha$ | Г | Модуль сили взаємодії двох постійних магнітів |
| | | Д | Магнітна індукція в центрі кругового струму |

2. Силовою характеристикою магнітного поля є ...

- | | |
|------------------------------|-----------------------------------|
| А. ... магнітна проникність. | Б. ... вектор магнітної індукції. |
| В. ... магнітний потік. | Г. ... сила Лоренца. |

3. Фізична величина, що характеризує магнітні властивості речовини, називається ...

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| А. ... діелектричною проникністю. | Б. ... магнітною індукцією. |
| В. ... магнітною проникністю. | Г. ... індуктивністю. |

4. Лінії магнітної індукції відрізняються від ліній напруженості електростатичного поля тим, що вони ...

- | | |
|--|---|
| А. ... починаються на південному полюсі магніту. | Б. ... закінчуються на північному полюсі магніту. |
| В. замкнуті. | Г. ... перетинаються одна з одною. |

5. Як зорієнтована магнітна стрілка у магнітному полі Землі?

- | |
|---|
| А. Північний її полюс обернений до північного магнітного полюсу Землі. |
| Б. Північний її полюс обернений до південного географічного полюсу Землі. |
| В. В площині географічного меридіана. |

Г. В площині магнітного меридіана.

6. В яких точках земної поверхні кут магнітного нахилення дорівнює приблизно нулю, а в яких – майже 90° ?

А. На екваторі – 0° , на магнітних полюсах – 90° .

Б. На екваторі – 90° , на магнітних полюсах – 0° .

В. На магнітних полюсах – 0° , на географічних – 90° .

Г. На північному магнітному полюсі – 0° , а на південному – 90° .

Рівень Б

7. Поясніть будову та принцип дії тангенс-гальванометра.

8. Як встановити котушку тангенс-гальванометра так, щоб її витки лежали у площині магнітного меридіана?

9. Як знайти напрямок вектора індукції магнітного поля у центрі кругового струму?

10. Задля чого в електричній схемі (див. рис. 11.5) передбачено:

- реостат;
- амперметр;
- перемикач двополюсний?

11. При якому положенні повзунка реостата відхилення магнітної стрілки компаса магнітним полем котушки буде максимальним? Витки котушки лежать в площині магнітного меридіана.

12. Яким чином можна змінити напрямок струму в котушці тангенс-гальванометра (див. рис. 11.5)? З якою метою передбачено цю можливість?

13. При яких кутах відхилення стрілки вимірювання буде мати найменшу похибку?

14. Яка з безпосередньо вимірюваних величин вносить у результат (в отримане значення $B_{\text{гор}}$) найбільшу похибку?

15. Як залежить точність отриманого значення $B_{\text{гор}}$ від діаметра котушки тангенс-гальванометра?

16. Вкажіть шляхи підвищення точності результатів експерименту.

17. Отримайте робочу формулу (11.3).

18. Сформулюйте закон Біо – Савара – Лапласа.

19. Отримайте формули для магнітної індукції:

- в центрі кругового струму силою I та радіусом R ;
- на відстані r від прямого струму силою I .



11.3. Додаткові творчі завдання.

Завдання для формування банку ідей.

1. Як визначити, яка з двох в'язальних сталевих шпиць намагнічена, не користуючись нічим, окрім самих шпиць?

2. Як виготовити котушку, яка при пропусканні струму на обох кінцях:

- мала б північні полюси;
- мала б південні полюси;
- взагалі не мала б полюсів?

3. Як визначити полюси підковоподібного магніту, якщо не видно їх позначення, за допомогою телевізора (або осцилографа)? Чи будь-який телевізор можна використати для цього?

4. Як визначити магнітні полюси електромагніту, виготовленого із цвяха, ізолюваного дроту, реостата та батарейки:

- за допомогою компаса;
- не використовуючи ніякого додаткового обладнання?

5. Як з'ясувати, чи намагнічено сталевий стержень за допомогою шматка мідного дроту та котушки з нитками?

6. Як визначити напрямок магнітного меридіана, якщо у наявності є: стакан з водою, щіпка кам'яної солі NaCl , ножиці, шматок мідного дроту, невелика цинкова пластинка та корок?

7. Як за допомогою сильного магніту (краще підковоподібного) з'ясувати, на якому струмі (постійному або змінному) працює лампа розжарювання?



Експериментальні та тренувальні винахідницькі задачі.

Експериментальні задачі.

1. Визначте значення горизонтальної складової індукції магнітного поля Землі. *Обладнання:* електронний осцилограф, магнітна стрілка, калька, лінійка. *Примітка.* У задачі передбачається, що відстань від анода до екрана є відомою (або її можна безпосередньо виміряти).

2. Визначте магнітну індукцію поля штабового магніту на його поздовжній осі на відстані $l = 30$ см від центральної (середньої) лінії магніту, якщо відомо, що у даній місцевості магнітна індукція поля Землі $B \approx 4,1 \cdot 10^{-5}$ Тл, а вектор $\vec{B}$ напрямлений під кутом $\varphi \approx 65^\circ$ до горизонту. *Обладнання:* магніт у вигляді тонкого циліндра довжиною 40 мм, лінійка довжиною $40 \div 50$ см, компас.

3. Визначте залежність індукції магнітного поля прямолінійного струму від сили струму та відстані до струму. Горизонтальна складова індукції магнітного поля Землі дорівнює $2,5 \cdot 10^{-5}$ Тл. *Обладнання:* магнітна стрілка, велика дротяна рамка, джерело постійного струму, реостат, амперметр, лінійка.

4. Дослідіть залежність сили взаємодії металевої гайки з підковоподібним магнітом від різних положень металевої перемички, яка з'єднує полюси магніту. *Обладнання:* підковоподібний магніт, металева перемичка, гайка, нитка, динамометр, міліметровий папір.

5. Зібравши установку за поданою схемою або малюнком (рис. 11.6), дослідити залежність сили притягання електромагніту від:

- сили струму у котушках електромагніту;
- числа витків (у випадку однієї та двох котушок);
- відстані між якорем та осердям (розміщуючи між ними змінне число шарів паперу);
- площі дотику якоря з осердям.

Обладнання: електромагніт, джерело постійного струму, реостат, міліамперметр, ключ, з'єднувальні провідники, штатив, набір тягарців, аркуш цупкого паперу, штангенциркуль.

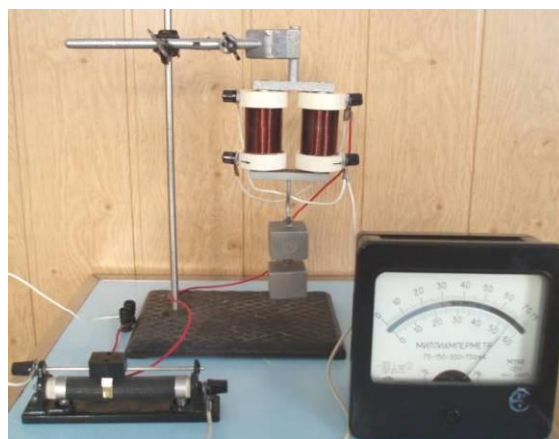
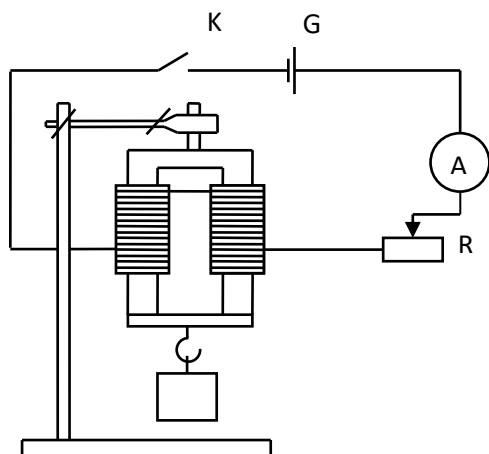


Рис. 11.6. Схема та малюнок дослідної установки до експериментальної задачі 5

Тренувальні винахідницькі задачі.

1. Досить часто доводиться стикатися із небажаним намагнічуванням деталей, інструментів, механічних годинників тощо. Залишкову індукцію можна зняти, наприклад, шляхом нагрівання тіла вище точки Кюрі, при цьому речовина переходить з феромагнітного стану у парамагнітний. Після наступного охолодження (при якому відбувається зворотний перехід з пара- у феромагнітний стан) зразок стає не намагніченим. Однак при нагріванні деякі механічні властивості сталі можуть суттєво змінитися. Крім того, інколи цей спосіб взагалі не можна здійснити (зокрема для розмагнічування механічних годинників). Запропонуйте спосіб або пристрій для більш зручного розмагнічування.

2. Розкрийте “таємницю” чорного ящика (рис. 11.7), якщо при підключенні до його входних клем гальванічного елемента з ЕРС 6В на вихідних клеммах виникає напруга, достатня для іскрового пробою повітряного проміжку у декілька міліметрів завтовшки.



Рис. 11.7. Чорний ящик

до винахідницької задачі 2



Зробіть своїми руками!

Виготовте саморобний компас, що може стати у пригоді під час подорожі. Він, складається з намагніченої швацької голки, корка та ємності з водою (рис. 11.8). Намагнітити голку досить просто. Для цього її достатньо піднести до постійного магніту. Якщо ж його у наявності немає, можна намотати на голку кілька витків (20 ÷ 30) ізолюваного дроту та підключити на короткий час (≈ 10 с) до батарейки. *За рахунок чого намагнічується голка у такий спосіб?*



Рис. 11.8. Саморобний компас