

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для проведення практичних занять
СИЛА ТЯЖІННЯ ТА ЇЇ РОЗПОДІЛ НА ЗЕМНІЙ КУЛІ
з дисципліни “Геофізика з основами астрономії”

для студентів 1 курсу
Спеціальностей - 103 «Науки про Землю», 193 «Геодезія та землеустрій»

«ЗАТВЕРДЖЕНО»
на засіданні групи забезпечення
спеціальності 103 «Науки про Землю»
протокол № 10 від «10» серпня 2021 року

Голова групи  Жакірзанова Ж.Р.

«ЗАТВЕРДЖЕНО»
на засіданні групи забезпечення
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»
протокол № 8 від « » 2021 року

Голова групи  Ляшенко Г.В.

«ЗАТВЕРДЖЕНО»
на засіданні кафедри гідроекології
та водних досліджень
Протокол №10 від «13» травня 2021р.
Зав кафедрою  Лобода Н.С.

Одеса 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для проведення практичних занять

СИЛА ТЯЖІННЯ ТА ЇЇ РОЗПОДІЛ НА ЗЕМНІЙ КУЛІ
з дисципліни “Геофізика з основами астрономії”

Одеса-2021

Методичні вказівки для проведення практичних занять по темі «Сила тяжіння та її розподіл на земній кулі» з вивчення дисципліни «Геофізика з основами астрономії» для студентів I курсу денної та заочної форм навчання за спеціальностями 103 "Науки про Землю", 193 "Геодезія та землеустрій".
/Балан Г.К., Гращенкова Т.В./ – Одеса, ОДЕКУ, 2021. – 18с.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
------------	---

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1 Сила тяжіння та її розподіл на земній кулі	
1.1 Сила тяжіння.....	5
1.2 Одиниці сили тяжіння.....	9
1.3 Гравітаційна стала.....	9
1.4 Нормальне та аномальне значення сили тяжіння.....	10
1.5 Редукція сили тяжіння.....	10

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Розв'язати завдання	13
Контрольні запитання.....	14
Тестові завдання	15

ЛІТЕРАТУРА	16
------------------	----

ВСТУП

Однією з найдивніших властивостей гравітаційного поля є його **всепроникність**: відгородитися від його дії неможливо; воно діє на будь-який матеріальний об'єкт і проникає крізь будь-який екран. Іншою властивістю гравітаційного поля є те, що його дія, безперервно зменшуючись, простягається практично на необмежені відстані.

Наявність в Землі гравітаційного поля є однією з необхідних умов існування життя на ній: воно утримує атмосферу і Світовий океан від їх розсіювання в космосі; воно притягує до поверхні Землі людей, тварин і всі інші матеріальні об'єкти; воно направляє перебіг річок і створює на поверхні водойм виштовхуючі (Архімедові) сили, що утримують на ній судна і тому подібне.

Гравітаційне поле, якщо і змінювалося впродовж історії існування біосфери, то, певно, плавно, еволюційно. Це дозволяє передбачати, що в кожен чималий геологічний відрізок часу біосфера існувала при відносно стабільному гравітаційному полі.

Геомагнітне поле піддавалося радикальнішим стрибкоподібним змінам. Про це свідчить дрейф геомагнітних полюсів і зміна магнітної полярності (інверсії геомагнітного поля) з тимчасовим інтервалом від 0,5 до 10 млн. років, що підтверджують дані палеомагнітних досліджень.

Загальна гравітаційна, магнітна і температурна обстановка на Землі в процесі еволюції біосфери забезпечила можливість стійкого існування, точніше, пристосування живих організмів аж до переживаних нами історичного і геологічного відрізків часу.

В той же час, неухильно зростаюча техногенна енергетична дія на всі живі організми на Землі, зумовлена рівнем електромагнітного забруднення середовища, що збільшується, в дуже широкому частотному діапазоні, і особливо в області радіочастот, може мати непередбачуваний вплив на біосферу. Також слід мати на увазі, що природні геофізичні і техногенні фізичні поля не існують окремо, а накладаються один на одного.

Після вивчення даної теми **студент повинен вміти** оцінювати параметри сили тяжіння та її розподіл на поверхні Землі; параметри геомагнітного поля Землі та використовувати набуті знання під час розгляду процесів в атмосфері, гідросфері, літосфері, розглядаючи їх в тісному взаємозв'язку.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1 СИЛА ТЯЖІННЯ ТА ЇЇ РОЗПОДІЛ НА ЗЕМНІЙ КУЛІ

Гравітаційне поле Землі є однією з причин кругообігів у літосфері, атмосфері і гідросфері.

Навколо Землі існує поле тяжіння, зумовлене її масою. Це поле називається гравітаційним. Вплив гравітаційного поля на розвиток планети та її географічну оболонку величезний.

Сила тяжіння визначає справжню форму земної поверхні – геоїд, зумовлює рухи земної кори. Під її впливом відбувається переміщення пухких гірських порід, мас води, льоду, повітря.

В природі між будь-якими двома тілами завжди існує силова взаємодія, в результаті якої відбувається їх взаємне притягання. Фізичне поле цієї взаємодії називається **гравітаційним полем** (від лат. *gravitas* - тяжіння).

Вперше закон Всесвітнього тяжіння відкрив І.Ньютон у 1687 році. Цей закон має універсальний характер, тому що притягання, або "тяжіння" властиве всім тілам; воно проникає крізь небесні тіла так само вільно, навіть якщо б цих тіл не існувало.

Основними вимірюваними елементами гравітаційного поля Землі є *прискорення вільного падіння* та *похідні потенціалу сили тяжіння*. За цими даними визначають форму Землі, вони використовуються в астрономо-геодезичних вимірах при визначенні пунктів та ін. Елементи гравітаційного поля Землі також використовують в гравіметричній розвідці, навігації, метрології та при вирішенні цілого ряду завдань в багатьох областях науки і техніки.

1.1 Сила тяжіння

Згідно за законом Всесвітнього тяжіння всі тіла притягуються один до одного з силою пропорційною добутку мас та обернено пропорційною квадрату відстані між центрами цих мас. Силу притягання визначаємо за формулою:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (1.1)$$

де G - коефіцієнт всесвітнього тяжіння (гравітаційна стала);

m_1, m_2 - маси тіл, що притягуються;

r - відстань між центрами мас.

Необхідно підкреслити, що закон Всесвітнього тяжіння припустимий по відношенню до Землі і тіла будь-якої маси, за умови, що останнє не приймає участі в русі разом із Землею навколо осі. Якщо тіло знаходиться

на поверхні Землі або в межах атмосфери, то воно рухається разом з твердим тілом Землі навколо її осі.

У цьому випадку силу, з якою Земля притягує тіло, неможливо визначити тільки формулою (1.1), тому що крім сили притягання з'являється ще одна сила, пов'язана з рухом тіла разом із Землею навколо її осі. Ця сила називається відцентровою силою, дію якої можна відчутти, катаючись на каруселі, коли при швидкому обертанні сила відкидає вас в напрямку, перпендикулярному осі обертання $O - O_1$ (рис. 1.1).

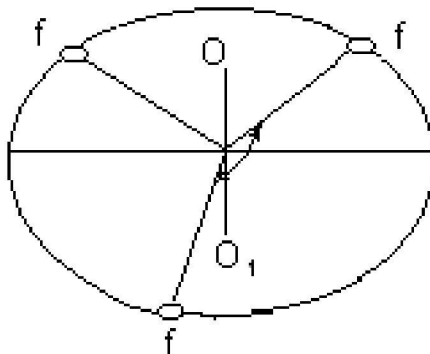


Рис.1.1 - Дія відцентрової сили

Якщо уявити, що ми знаходимося на поверхні Землі (рис.1.2) і що Земля є велика карусель, тоді, знаходячись в точці A та обертаючись

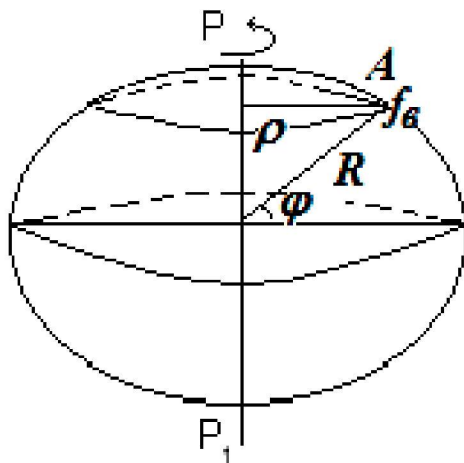


Рис. 1.2 - Дія відцентрової сили

навколо осі $P P_1$ в колі радіусом R , ми також будемо відчувати дію відцентрової сили f_v .

$$f_v = m \omega^2 \rho, \quad (1.2)$$

де m - маса тіла; ω - кутова швидкість обертання Землі;

ρ - радіус паралелі, на якій знаходиться точка A .

Таким чином, в точці A на тіло масою m (рис.1.3) діють дві сили: сила притягання F та відцентрова сила f_v .

Сила притягання F завжди направлена до центру Землі, її можна визначити, якщо в формулу (1.1) замість m підставити масу Землі M , а замість ρ - радіус Землі R , тоді формула (1.1) буде мати вигляд

$$F = G \frac{Mm}{R^2} . \quad (1.3)$$

Відцентрова сила f_v направлена перпендикулярно до осі обертання Землі PP_1 , її можна визначити за формулою (1.2).

Рівнодіюча двох сил - притягання та відцентрової - називається силою тяжіння. На рис. 1.3 вона зображена у вигляді вектора, який є діагоналлю паралелограма. В загальному векторному вигляді сила тяжіння є сумою двох сил: притягання та відцентрової:

$$\vec{g} = \vec{F} + \vec{f}_v \quad (1.4)$$

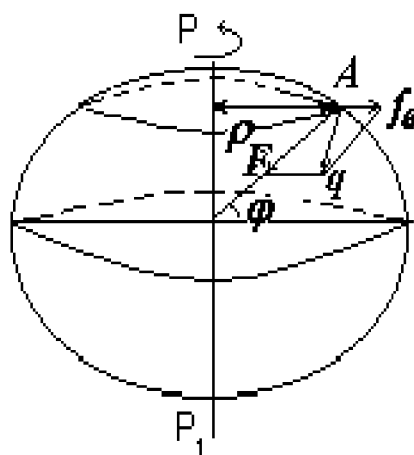


Рис. 1.3 - Сила притягання F та відцентрова сила f_v

Відцентрова сила складає 1/289 частину сили притягання. Незважаючи на те, що відцентрова сила дуже мала в порівнянні з силою притягання, при розв'язанні багатьох практичних задач її необхідно враховувати.

Розглянемо вираз сили тяжіння в скалярному вигляді. Перш за все виразимо радіус паралелі ρ , де знаходиться точка A , через радіус Землі R . Як бачимо з трикутника AOB (рис. 1.4)

$$\rho = R \cos \varphi \quad (1.5)$$

При переході до виразу в скалярному вигляді розглянемо не значення відцентрової сили, показаної на рис. 1.3, а її проекційне продовження радіуса Землі (AC), (рис.1.4), де вона показує, на скільки зменшиться сила притягання. Назвемо її радіальною складовою відцентрової сили і позначимо через f_{rad} . Значення f_{rad} визначимо з трикутника ACD :

$f_{rad} = f_c \cos \varphi$ після перетворень матимемо:

$$f_{rad} = m \omega^2 R \cos^2 \varphi \quad (1.6)$$

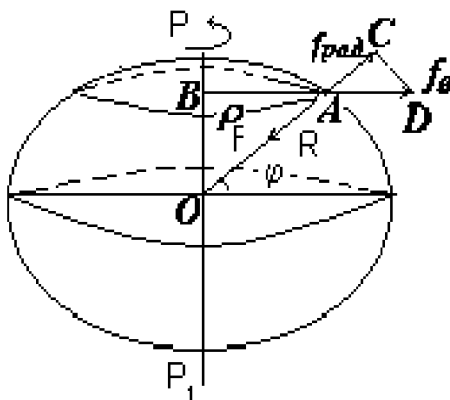


Рис. 1.4 - Радіальна складова відцентрової сили

Отже вираз сили тяжіння, що діє на тіло масою m на поверхні Землі, буде мати вигляд:

$$g = G \frac{Mm}{R^2} - m \omega^2 R \cos^2 \varphi . \quad (1.7)$$

Розглянемо співвідношення між силою тяжіння та прискоренням вільного падіння. Згідно із другим законом Ньютона:

$$F = m a, \quad (1.8)$$

а для падаючого тіла,

$$F = m g . \quad (1.9)$$

З іншого боку, силу , що діє на падаюче тіло, можна виразити і так:

$$g = G \frac{Mm}{R^2} - m \omega^2 R \cos^2 \varphi , \quad (1.10)$$

порівнюючи їх праві частини, одержимо

$$mg = G \frac{Mm}{R^2} - m \omega^2 R \cos^2 \varphi , \quad (1.11)$$

скорочуючи m , будемо мати вираз дії сили на одиничну масу

$$g = G \frac{M}{R^2} - w^2 R \cos^2 \varphi, \quad (1.12)$$

Таким чином, сила тяжіння, діюча на одиничну масу, та прискорення вільного падіння рівні за значенням, але ці величини різні по суті.

При характеристиці сили тяжіння на Землі часто використовують поняття прискорення сили тяжіння. Інших величин, що характеризують розподіл сили тяжіння на Землі, не існує.

1.2 Одиниці сили тяжіння

На XV асамблеї Міжнародного союзу геодезії та геофізики за одиницю сили тяжіння в системі СІ прийнята одиниця "*галімо*" (*GL*) в честь Г.Галілея.

Галімо - це прискорення, що розвиває маса в 1 кг під дією сили в 1 Н ($GL = 1 \text{ м/с}^2$).

В спеціальній літературі зустрічаються більш дрібні одиниці сили тяжіння, наприклад *гал* (гл), *мілігал* (мгл), *мікрогал* (мкгл),

тобто $GL = 100 \text{ гл}$.

$$1 \text{ галімо} = 1 \text{ м/с}^2 = 100 \text{ см/с}^2 (\text{гл}) = 10^{-5} \text{ мгл} = 10^{-8} \text{ мкгл}$$

1.3 Гравітаційна стала (коефіцієнт всесвітнього тяжіння)

У виразах, наведених вище, гравітаційна стала позначена G , але в літературі дуже часто можна зустріти позначення K і f .

Гравітаційна стала (G) є коефіцієнтом пропорційності - це величина, що дорівнює силі притягання двох одиничних мас на одиничній віддалі.

Для обчислення G необхідно виміряти силу взаємопритягання двох мас однакових розмірів і взаємного положення.

Вперше в 1793 р. значення коефіцієнта всесвітнього тяжіння визначив англійський фізик Генрі Кавендіш.

За сучасними даними в системі СІ

$$G = 6,720 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{кг}^2 \text{ с}^2$$

(зовсім випадково число 6,67 близько до $20/3$, інколи цей дріб застосовують при приблизних розрахунках).

1.4 Нормальне та аномальне значення сили тяжіння

Нормальною силою тяжіння (γ_0) називається прискорення, що спостерігається на поверхні правильного, однорідного по щільності, рівневого еліпсоїда, що співпадає із спокійною поверхнею океану.

Основи розрахунку теорії нормальної сили тяжіння γ_0 розробив французький вчений А. Клеро (1793 р.)

Відомо декілька формул для розрахунку γ_0 , але всі вони різняться тим, що застосовуються для різних моделей земного еліпсоїда.

Для обчислення цієї величини використовують формулу Гельмерта:

$$\gamma_0 = 9780,030(1 + 0,005302 \sin^2 \varphi - 0,000007 \sin^2 2\varphi) \text{ гл} \quad (1.13)$$

Ця формула наближено підходить до еліпсоїда Красовського. Для визначення γ_0 використовують спеціальні таблиці.

Таким чином, нормальне прискорення сили тяжіння (нормальне значення сили тяжіння) можна одержати без інструментальних вимірів, тобто завдяки розрахункам. Для визначення сили тяжіння в будь-якому пункті земної кулі достатньо *знати широту цього пункту*.

Нормальне поле сили тяжіння - це поле, яке рівномірно змінюється зі зміною широти, оскільки воно обчислюється для правильної форми Землі однорідної щільності. Адже реальна Земля відрізняється від правильної за формою та характеризується нерівномірним розподілом мас всередині Землі: в одних її частинах сконцентровані більш щільні важкі маси, в інших - навпаки, тому для реальної Землі спостерігаються відхилення від ідеального розподілу сили тяжіння як по широті, так і по довготі.

Різниця між виміряною (g_ϕ) та нормальною (γ_0) силою тяжіння називається аномалією сили тяжіння

$$\Delta g = g_\phi - \gamma_0 \quad (1.14)$$

Склавши схему розподілу аномалій сили тяжіння по земній кулі, можна одержати картину аномального гравітаційного поля Землі, яка характеризує відхилення дійсних значень сили тяжіння від теоретичних.

1.5. Редукція сили тяжіння

Силу тяжіння на поверхні Землі можна виміряти відповідними способами, використовуючи спеціальні прилади. В результаті для даної точки отримаємо одні й ті ж значення, що відрізнятимуться один від одного значенням похибки. Але умови місцевості пунктів визначення можуть бути неоднаковими, тому що виміри можна здійснювати на різних висотах по

відношенню до рівня моря або безпосередньо на поверхні води, наприклад, на суднах.

Нормальне значення сили тяжіння обчислюють для поверхні земного еліпсоїда, що співпадає з рівнем води спокійного океану.

Тому, щоб визначити аномалії сили тяжіння, необхідно виміряне значення перенести в точку еліпсоїда або, навпаки, теоретичне (нормальне) значення перенести до висоти точки спостережень, тобто необхідно, щоб обидва значення були приведені до одного знаменника.

Історично був вибраний перший спосіб, але в наш час частіше використовують другий спосіб, який називається *редукцією сили тяжіння*. При цьому перш за все необхідно враховувати різницю висоти. На висоті над поверхнею земного еліпсоїда (який ототожнюють з поверхнею геоїда або рівня води в океані) нормальне значення сили тяжіння зменшиться на величину

$$\Delta g_H = 2 \frac{g}{R} H \quad (1.15)$$

де: g - середнє значення сили тяжіння на Землі;

R - середній радіус Землі,

H - висота точки.

В числовому виразі ця формула матиме вигляд

$$\Delta g = - 0,3086 \cdot 10^{-5} H \text{ (м/с}^2\text{)} \quad (1.16)$$

Тобто, якщо ми знаємо висоту точки, то можна обчислити необхідне приведення. Але окрім врахування різниці висоти необхідно враховувати і наявність гірських порід з щільністю ρ , які залягають між поверхнею еліпсоїда та точкою спостереження (рис. 1.5).

Це поправка

$$\Delta g_\rho = 2\pi G \rho H, \quad (1.17)$$

де ρ - середня щільність порід

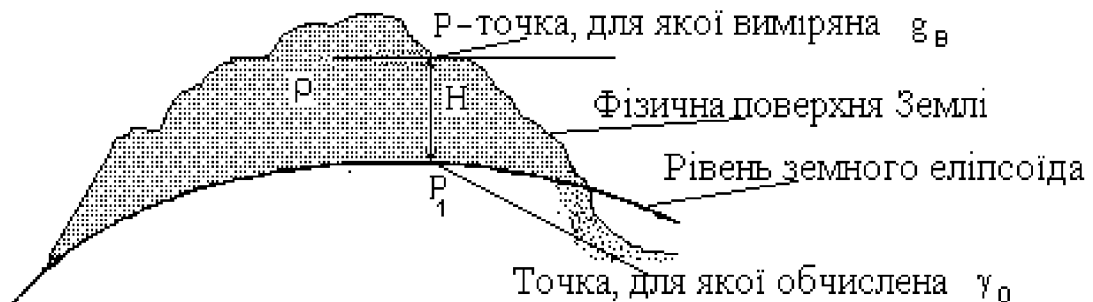


Рис. 1.5 - Редукція сили тяжіння

Величина, яку обчислили за формулою (1.17), називається *поправкою за проміжний шар*. Для вирішення геодезичних задач ця поправка не вводиться, в цьому разі аномалію сили тяжіння називають *аномалією у вільному повітрі* (скорочено - *аномалія Фая*).

При введенні поправки на проміжний шар, що дуже важливо при розв'язанні геологічних задач, ці аномалії називаються *аномаліями в редукції Буге* (*аномалія Буге*).

Відповідно, формули для обчислення аномалій мають вигляд:

в редукції Фая:

$$\Delta g_{\delta} = g_B - (\gamma_0 - \Delta g_f); \quad (1.18)$$

в редукції Буге:

$$\Delta g_{\delta} = g_B - (\gamma_0 - \Delta g_f + \Delta g_{\rho}) \quad (1.19)$$

Гравітаційні аномалії, що мають геологічну природу, досягають $(3 - 30) \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$.

Тимчасові варіації, зумовлені приливною дією космічних тіл, і в першу чергу Місяця та Сонця, яка приводить до періодичних змін висоти земної поверхні, а також до повільного перерозподілу гравітаційних мас усередині земної кулі, можуть становити $3,4 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$, а можлива величина вікових змін сили тяжіння протягом року - менша ніж $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$.

Зміни сили тяжіння на поверхні літосфери зумовлені інженерною діяльністю людини: витягання з надр Землі значної кількості викопної сировини, штучне зниження або підвищення рівня підземних вод, створення водосховищ, будівництво крупної міської агломерації, порівнянні з варіаціями.

Сила тяжіння може змінюватися підчас екологічно значущих геологічних процесів, таких, наприклад, як:

- а) сейсмотектонічні переміщення;
- б) обвальні явища;
- в) зсуви і карстоутворення;
- г) процеси, які пов'язані з просіданням земної поверхні;
- д) переробкою берегів крупних водосховищ і тому подібне.

Аномальне гравітаційне поле Землі відображає сумарну дію гравітуючих мас, розташованих на різних глибинах в земній корі і верхній мантії. Тому для однозначного вирішення питання про природу аномалій необхідно розділяти гравітаційні поля на регіональні, створювані глибокозалягаючими масами і локальні, зумовлені місцевими геологічними неоднорідностями розрізу.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

РОЗВ'ЯЗАТИ ЗАВДАННЯ:

1. Обчислити, на яку долю відсотка зменшиться вага 1 кг апельсин в Мурманську в порівнянні з Одесою, якщо зважування виконувати на пружинних терезах.
2. Визначити масу і середню щільність Землі. Для спрощення розв'язання завдання Землю можна прийняти за кулю, відцентровою силою можна знехтувати.
3. Розрахувати, чому дорівнює відцентрова сила, що діє на Вас, якщо Ви катаєтесь на каруселі при $\rho = 10\text{ м}$ і швидкості обертання 20 об/хв.
4. Обчислити відцентрову силу, що діє на Вас в результаті обертання Землі, якщо Ви знаходитесь на головпоштамті м. Одеси.
5. Розрахувати прискорення сили тяжіння, що діє на Вас в Одесі. Прийняти радіус Землі з урахуванням сфероїдальності.
6. Визначити, на скільки відсотків зміниться сила тяжіння на вершині гори Джомолунгма в порівнянні з рівнем моря.
7. Розрахувати нормальне значення сили тяжіння для
 - А) екватора,
 - Б) полюса,
 - В) м. Одеса.
8. Наскільки зміниться сила тяжіння на земній кулі, якщо Земля буде виконувати оберт навколо осі за: А) 24 год?; Б) за 30 год?
9. Наскільки відрізняються аномалії сили тяжіння в редукції Фая від аномалії сили тяжіння в редукції Буге на вершині гори Джомолунгма?
10. Визначити силу тяжіння, яка діє:
 - а) на людину масою $m = 100\text{ кг}$;
 - б) на автомобіль масою $M = 1,5\text{ т}$;
 - в) на монету масою $m = 5\text{ г}$.
11. Як зміниться **сила тяжіння**, що діє на космонавта та його вагу, коли він переміщується з поверхні Землі на орбітальну станцію?

Контрольні запитання

1. В чому полягає відмінність сили тяжіння від сили притягання?
2. На якій віддалі від Землі поняття "сила тяжіння" не має сенсу?
3. Якими параметрами характеризується зміна сили тяжіння на земній кулі?
4. Чому сила тяжіння збільшується в напрямку від екватора до полюсів?
5. В чому принципова різниця понять "сила тяжіння" і "аномалія сили тяжіння"?
6. Що необхідно знати, щоб визначити нормальне значення сили тяжіння на поверхні Землі?
7. В чому принципова різниця аномалій в редукції Фая від аномалій в редукції Буге? Яка з названих аномалій має більше значення?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Геофізичні поля Землі - це:

- а) електричне, магнітне, теплове; радіаційне, екологічне;
- б) гравітаційне, геомагнітне; електромагнітне, теплове;
- в) теплове, індукційне, магнітне; гравітаційне, вулканічне;
- г) гравітаційне, магнітне, теплове, космічне, іонізуюче.

2. Аномалії сили тяжіння?

- а) сумарна поправка в виміряні значення;
- б) різниця між виміряним значенням сили тяжіння і нормальним;
- в) відхилення значення сили тяжіння під дією притягання Сонця;
- г) відхилення значення сили тяжіння в період магнітних бурь.

3. Форма Землі двовісний еліпсоїд - це результат:

- а) сили Коріоліса;
- б) відцентрової сили;
- в) сили притягання;
- г) орбітального обертання Землі

4. Полярне стиснення є результатом дії:

- а) сили тяжіння Місяця і планет;
- б) сили Коріоліса;
- в) відцентрової сили;
- г) орбітального обертання Землі.

5. Приливи і відливи в Світовому океані виникають під дією:

- а) океанічних течій;
- б) потужних штормів;
- в) гравітаційних сил Місяця;
- г) мусонних вітрів.

6. Визначити, де на земній поверхні сила тяжіння буде найбільша:

- а) на екваторі;
- б) на полюсі;
- в) на Гринвічі;
- г) не залежить від широти.

7. Гравітаційне поле

- а) збільшує швидкість обертання Землі;
- б) притягає до поверхні Землі людей, тварин і всі інші матеріальні об'єкти;
- в) змінює теплове поле, нагрів оболонки Землі;
- г) воно змінює перебіг річок і напрям переміщення повітряних мас.

8. Помилковим є твердження:

- а) щоб визначити силу тяжіння в будь-якій точці земної кулі достатньо знати її широту;
- б) аномалія сили тяжіння це - різниця між виміряною та нормальною силою тяжіння;
- в) для розв'язання геодезичних задач вводиться поправка *Фая*;
- г) вперше значення коефіцієнта всесвітнього тяжіння визначив Ньютон.

9. Прискорення, що спостерігається на поверхні правильного, однорідного по щільності еліпсоїда це:

- а) сила притягання;
- б) сила тяжіння;
- в) відцентрова сила;
- г) нормальна сила тяжіння.

10. Які параметри Землі впливають на зміну сили тяжіння?

- а) довгота;
- б) широта;
- в) маса Землі;
- г) маса Місяця

ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Балан Г.К., Селезньова Л.В. Основи геофізики: консп. лекцій. Одеса, 2010. 115 с.
2. Балан Г.К., Селезньова Л.В., Іваненко О.Г. «Основи геофізики»: навч. посібник. Одеса, 2006. 141с.
3. Балан Г.К. Геофізика з основами астрономії (блок геофізика): консп. лекцій. Одеса, 2018. 90 с. URL: <http://eprints.library.odku.edu.ua/5642/>
4. Балан Г.К., Методичні вказівки до самостійної роботи студентів по вивченню дисципліни «Геофізика з основами астрономії». Одеса, 2017. 36 с. URL: <http://eprints.library.odku.edu.ua/317/>

Додаткова

6. Багров М.В., Боков В.О., Черваньов І.Г. Землезнавство. Київ: Либідь, 2000. 464с.
7. Олійник Я.Б., Федорищак Р.П., Шищенко П.Г. Загальне землезнавство: навч.посібник. Київ, 1995. 243с.
8. Антропогенне забруднення геологічного середовища та ґрунтово-рослинного покриву. / За редакцією Т.А. Сафранова, А.М. Польового. - Одеса, 2003. 260с.
9. Федорищак Р.П. Загальне землезнавство. Київ: Знання, 2003. 247с.
10. Чечкин С.А. Основы геофизики. Ленинград: Гидрометеиздат, 1990. 320с.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для проведення практичних занять по темі «СИЛА ТЯЖІННЯ ТА ЇЇ
РОЗПОДІЛ НА ЗЕМНІЙ КУЛІ» з дисципліни “Геофізика з основами
астрономії”

Укладачі: ст. викл. Балан Г.К.
ас. Гращенко Т.В.

Підп. до друку
Умовн. друк. арк.

Формат
Тираж

Папір
Зам. №

Надруковано з готового оригінал-макета

Одеський державний екологічний університет
65016, Одеса, вул.Львівська, 15
