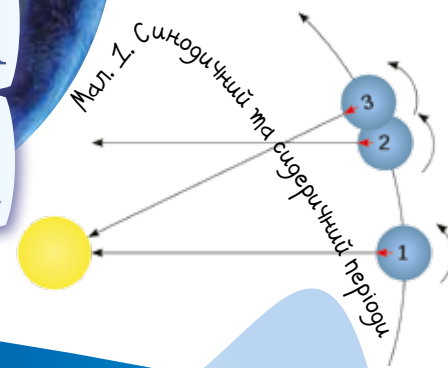


ЗЕМЛЯ – НАША РІДНА ПЛАНЕТА ЧАСТИНА 1

ОЛЕКСАНДР ШЕВЧУК



Здавалося б, ми знаємо про Землю все, адже ми живемо на цій планеті. Але Земля приховує ще багато таємниць, які людство буде розгадувати сотні і тисячі років. Багато наук займаються розкриттям таємниць нашої планети: географія, геологія, ботаніка, зоологія, фізика, хімія – цей перелік можна продовжувати довго. Ми ж подивимося на рідну планету очима астронома. Якою є наша Земля з погляду астрономічної науки?

Земля – третя від Сонця планета Сонячної системи, єдина, на якій є життя, домівка людства. Земля належить до планет земної групи і є найбільшою серед них. До речі, шостою планетою Сонячної системи, про яку дізналося людство, була саме... Земля! У це важко повірити, але доволі складно було довести очевидний сьогодні факт, що Земля – це звичайна планета, а не якась вселенська платформа у вигляді диска, навколо якої обертаються Сонце, Місяць та п'ять планет, відомих ще з доісторичних часів: Меркурій, Венера, Марс, Юпітер та Сатурн. Лише геній Микола Коперник зміг довести: Земля – планета Сонячної системи, і вона, як і всі інші планети, обертається навколо Сонця, а не навпаки.

Астрономічні спостереження свідчать, що Земля рухається навколо Сонця із середньою швидкістю 29 785 м/с по еліптичній (дуже близькій до колової) орбіті. Середня відстань від Землі до Сонця ста-

новить 149 598 261 км. У момент максимального наближення Землі до Сонця (в перигелії) відстань між ними становить 147 098 290 км, а в момент максимального віддалення (в афелії) – 152 098 232 км. Зверніть увагу, з якою точністю астрономи обчислили ці та інші параметри, наведені в тексті!

Хоч як дивно, дещо важче відповісти на запитання про період обертання Землі. Адже період обертання – відносне поняття. Його значення суттєво залежить від того, відносно якого об'єкта ми вимірюємо. Наприклад, відносно спостерігача на Землі Місяць не обертається навколо своєї осі і завжди повернутий до нас однією стороною. Але для умовного спостерігача, який перебував би в центрі Сонця, Місяць здійснював би обертання навколо своєї осі з періодом 29,530588 доби (29 днів 12 год 44 хв 2,803 с).

Відносно далеких зір період обертання Землі навколо осі (сидеричний період) на 3 хв 55,909469167 с менший за середнє значення періоду обертання Землі відносно центру Сонця (синодичний період). Це пов'язано з тим, що поки Земля виконує оберт навколо власної осі, вона одночасно з цим обертається навколо Сонця, здійснюючи орбітальний рух (мал. 1). Станом на 1 січня 2017 року відносно далеких зір орбітальний період Землі дорівнює приблизно 365,256363004 синодичної доби (зоряний рік), або ж 365 днів 6 год 9 хв 9,76 с. Водночас тривалість сидеричного року в одиницях сидеричної доби рівно на одну добу довша за вказаний вище період (спробуйте пояснити чому) і становить 366,256363004 такої доби.

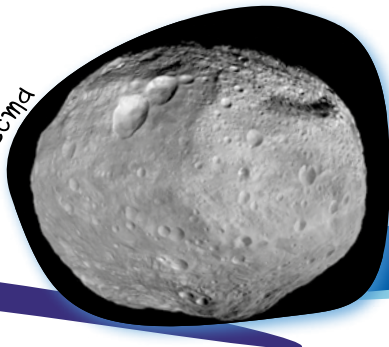
З часом, через гравітаційні збурення з боку інших небесних тіл (особливо Місяця), опір міжпланетного середовища, переміщення мас всередині та на поверхні Землі, періоди добового та річного обертання Землі поступово змінюються. Тривалість сидеричної доби зростає в середньому на 0,017 с за кожні 100 років, а тривалість сидеричного року зменшується в середньому на 0,532 с за цей же період.

За сучасними уявленнями Земля утворилася приблизно 4,7 млрд років тому з розсіяної навколо молодого Сонця газопилової речовини. Менші об'єкти та частинки поступово осідали на порівняно великі конгломерати (зерноподібні утворення) пилового походження, утворюючи щоразу більші за масою об'єкти, які астрономи називають планетезималіями. Безперервно притягуючи до себе речовину, планетезималі збільшуються, аж поки під дією сили

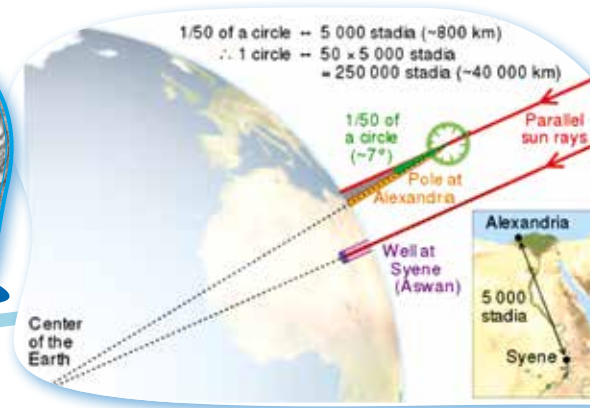
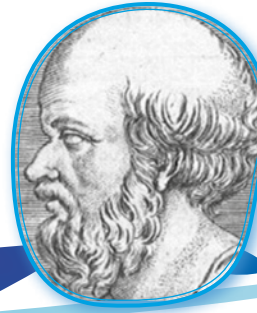
Мал. 2. Лютеція з відстані 3 160 км



Мал. 3. Веста



Мал. 4. Ератосфен



Мал. 5. Визначення розмірів Землі

тяжіння окремі частини починають ущільнюватися. Водночас зростають тиск і температура в центрі планетезималі, і окремі частинки розплавляються. Під впливом гравітації речовина планетезималі диференціюється: елементи з більшою густиною наближаються до центру, з меншою – розташовані поблизу поверхні. Так формується ядро і зовнішні оболонки майбутньої планети – протопланети. Прикладом планетезималі є астероїд Лютеція (мал. 2).

Згідно із сучасними теоріями формування планет, протопланети вносили невеликі взаємні збурення в параметри орбіт, в результаті чого відбувалися багаторазові зіткнення протопланет, які призводили до поступового накопичення маси внаслідок гравітаційного притягання уламків – результатів зіткнень. Так утворювалися планети, карликові планети та астероїди. У Сонячній системі є три більшість вцілілі протопланети: карликова планета Церера¹, астероїди Паллада та Веста (мал. 3). До протопланет також належать карликові планети поясу Койпера², наприклад, Плутон¹. У лютому 2013 року астрономи вперше безпосередньо спостерігали за протопланетою, що формується в газопиловій хмарі далекої від Сонця зорі.

Під дією гравітаційного поля, а також розігріву земних надр утворилися різні за хімічним складом і фізичними властивостями оболонки (геосфери): ядро, мантія, земна кора, гідросфера, атмосфера, магнітосфера. У складі Землі переважає залізо (34,6 % за масою), кисень (29,5 %), кремній (15,2 %), магній (12,7 %). Земна кора, мантія і внутрішня частина ядра тверді. Що глибше від поверхні Землі до її центру, то більший тиск, густина й температура. Тиск у центрі нашої планети майже у чотири мільйони разів перевищує атмосферний на рівні моря, а температура така ж, як на поверхні Сонця, – від 5 000 до 6 000 °C!

Першою людиною, яка змогла обчислити розміри Землі, був давньогрецький вчений і письменник Ератосфен, який жив у 275–

194 роках до н. е. (мал. 4). Він розрахував довжину меридіана Землі. Від купців він почув, що у полудень під час літнього сонцестояння в місті Суен (сучасна назва міста Асуан, Єгипет) Сонце розташоване прямо висно над головою (в зеніті) і освітлює дно найглибших колодязів. Водночас в його рідному місті Олександрії в полудень в день літнього сонцестояння гномон (вертикально встановлена жердина) відкидає тінь. Ератосфен здогадався, як, використовуючи ці факти, „виміряти Землю“.

На мал. 5 показана частина Африканського континенту. Двома стрілками вказані сонячні промені, які потрапляють на землю в Суені та Олександрії у полудень під час літнього сонцестояння. Таку ж схему використав Ератосфен для визначення радіуса Землі. Писарі фараона дали відповідь на „запит“ Ератосфена про відстань між Суеном та Олександрією. Виявилось, що вона становить приблизно 5 000 стадій (1 стадій дорівнює 176,4 м). Припускаючи, що Олександрія розташована точно на північ від Суена, Земля є ідеальною сферою, а промені Сонця є паралельними, Ератосфен вирахував, що радіус Землі дорівнює 7 100 км. Це значення лише на 9 % більше, ніж сучасне. Спробуйте самі за допомогою мал. 5 отримати цей результат, знаючи, що довжина тіні від гномона висотою 2 м у полудень в день літнього сонцестояння в Олександрії дорівнювала 25 см.

Зараз ми знаємо, що Земля – не ідеальна куля. Основною причиною є добове обертання Землі. У результаті дії відцентрових ефектів екваторіальний радіус Землі дорівнює 6 378,141 км, а полярний – 6 356,777 км. Середній радіус Землі становить 6 371,032 км. Довжина екватора Землі – 40 075,16 км, а в меридіональному напрямку довжина становить 40 008,00 км.

Площа поверхні земної кулі – 510 065 700 км², з яких: 70,81 % поверхні вкриті водою, а 29,19 % – суша. Об'єм Землі – майже трильйон (точніше, 1,0832 • 10¹²) км³, середня густина – 5 515 кг/м³. Земля

¹Читай статтю Олександра Шевчука „Карликові планети“ („КОЛОСОК“ № 4/2017).

²Читай статтю Олександра Шевчука „Як одне правило „знайшло“ два пояси. Частина 2“ („КОЛОСОК“ №2/2017).

відбиває в космічний простір 36,72 % сонячної енергії у видимому діапазоні довжин хвиль, в основному на довжинах хвиль, які око сприймає як синьо-блакитний колір. Тому часто Землю називають „блакитною планетою” – саме такою вона виглядає з навколосонячної орбіти (мал. 6) та з околиць Сонячної системи, наприклад, з орбіти Сатурна (мал. 7).

Кут між земною віссю та площиною її орбіти становить $66^{\circ} 33' 38,5881''$. Відповідно кут між земною віссю та перпендикуляром до площини орбіти Землі дорівнює приблизно $23^{\circ} 26' 21,4119''$ (мал. 9). Земля обертається навколо своєї осі, тому на ній змінюється день і ніч; вона обертається навколо Сонця, а її вісь нахилена до площини орбіти, тому на Землі є зміна пір року. Нахил призводить до того, що кількість сонячної енергії, отриманої тією чи іншою півкулею, змінюється впродовж року.

Кут нахилу земної осі до площини її орбіти залишається практично незмінним, зазнаючи невеликих коливань в межах $1,5^{\circ}$. Водночас напрямок осі в просторі зазнає повільних монотонних змін. Таке явище називають прецесією земної осі. Отже, прецесія – повільне (у порівнянні з періодом обертання тіла) зміщення осі обертання, в результаті чого вісь описує в просторі конус.

Явище прецесії відкрив давньогрецький астроном Гіппарх. Прецесію викликає більша сила тяжіння, що діє з боку Сонця на екваторіальну опуклість Землі (згадайте, що екваторіальний радіус Землі на 21,364 км більший за полярний) в порівнянні з іншими ділянками її поверхні. Період прецесії земної осі становить $25\,796 \pm 2,5$ років. Цей період ще називають платонівським роком. Назва походить від імені давньогрецького філософа Платона. У своєму діалозі він пише, що планети після дуже довгого циклу знову повертаються на свою первинну позицію, завершуючи таким чином один світовий цикл.

Унаслідок прецесії точки рівнодень, які є проекцією на небесну сферу точок перетину екватора Землі з площиною її орбіти, рухаються „небесним видимим шляхом” Сонця – екліптикою – назустріч річному рухові Сонця, долаючи $50,29''$ на рік. Унаслідок цього полюси світу, які є продовженням земної осі на небесну сферу, „мандрують” між зорями. Зараз північний полюс світу розташований поблизу Полярної зорі (α Малої Ведмедиці), яка завдяки такому положенню й отримала свою назву. Але так було не завжди. Розрахунки показують, що приблизно за 2 000 років до н. е. роль По-



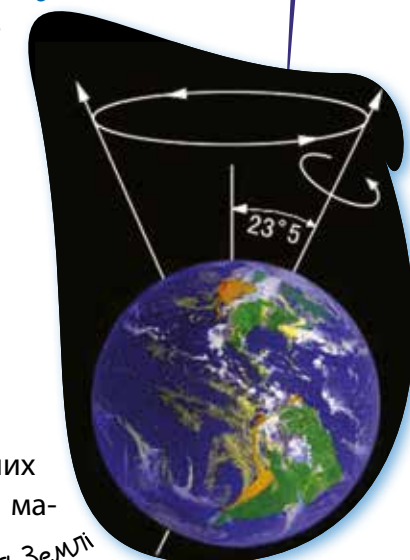
лярної зорі відіграла зоря α Дракона (Тубан), а через приблизно 5 000 років „Полярною” зорею слугуватиме зоря α Цефея (Альдерамін) (мал. 10). Одночасно з прецесійним рухом земна вісь зазнає невеликих коливань із періодом 18,6 років та амплітудою $18,42''$, викликаних гравітаційним впливом Місяця на Землю (мал. 11).

Циклічні зміни потоку сонячної енергії, яка надходить до земної поверхні, спричинені зміною параметрів обертання Землі навколо Сонця та навколо власної осі через спільну дію трьох факторів – прецесії, гравітаційного впливу Місяця та форми орбіти Землі, називаються циклами Міланковича. Свою назву цикли отримали на честь сербського геофізика та астронома Мілутіна Міланковича. Існування таких циклів пояснює періодичні зледеніння в історії Землі (льодовикові періоди). Тривалість циклів Міланковича – десятки і сотні тисяч років.

Земля за радіусом перевищує свого природного супутника – Місяця – в 3,67 рази, а за масою – у 81,3 рази (мал. 8). Маса Землі становить $5,9737 \cdot 10^{24}$ кг. Щоб здолати гравітаційне притягання Землі, потрібно досягнути так званої другої космічної швидкості. Поблизу поверхні Землі друга космічна швидкість дорівнює 11,186 км/с.

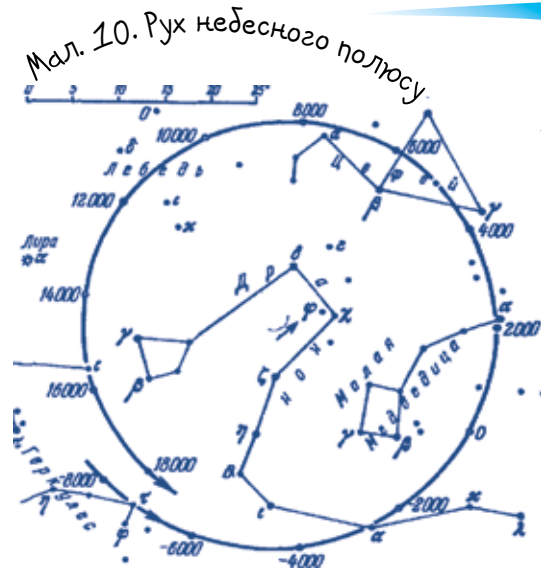
Гравітаційне поле Землі зумовлює її близьку до сферичної форму й існування атмосфери, до складу якої входять азот N_2 (78,08 % від маси атмосфери), кисень O_2 (20,95 %), аргон (0,93 %), двоокис вуглецю CO_2 (0,038 %), майже 1 % від маси атмосфери припадає на водяну пару.

Конфігурація гравітаційного поля сферичних тіл, які обертаються, як планети, навколо більш ма-

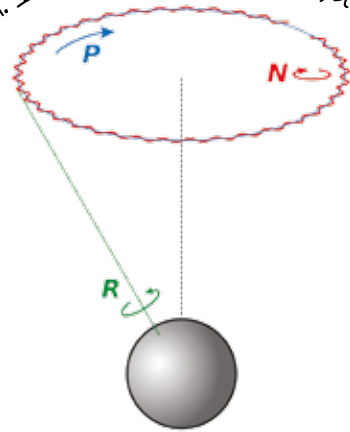


Мал. 9. Нахил осі обертання Землі

Мал. 8. Порівняння розмірів Землі та Місяця



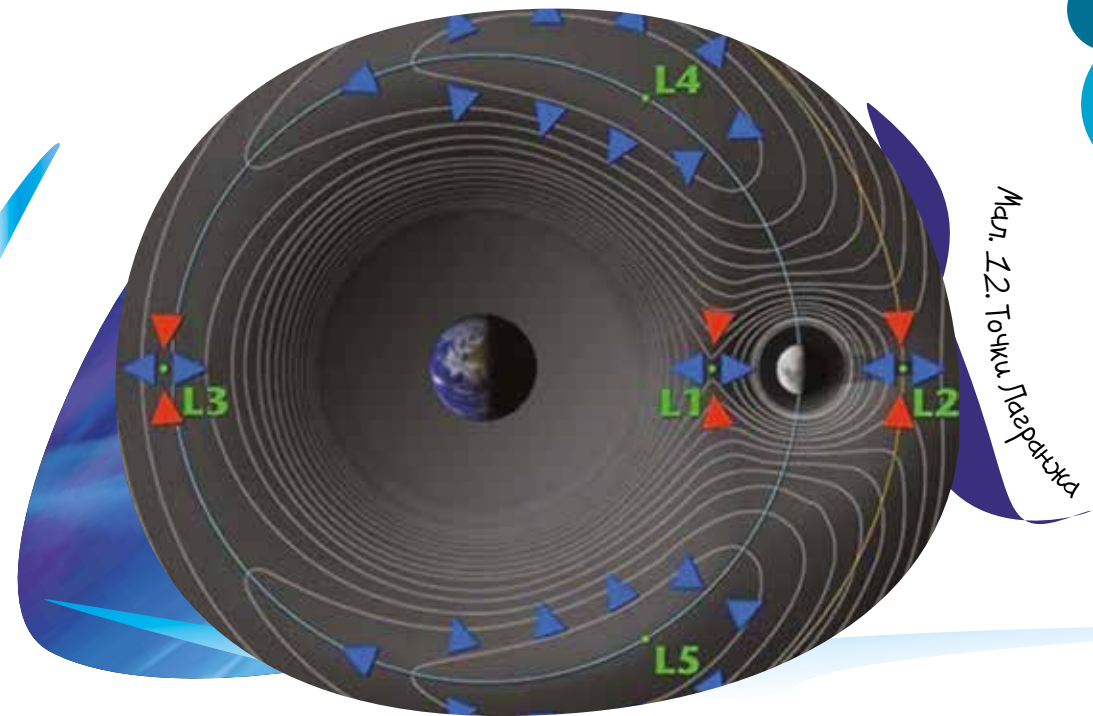
Мал. 11. Прецесія та нутація



сивних тіл теж сферичної форми, має ряд цікавих точок, зокрема тих, які називають точками Лагранжа. Точки названо на честь математика та астронома Жозефа-Луї Лагранжа, який відкрив їх 1772 року, працюючи над проблемою стійкості орбіт у системі з трьох тіл. У цих точках тіло з незначною масою (у порівнянні з масами центрального тіла та його планети), що зазнає тільки гравітаційного впливу від них, буде перебувати у рівноважному (стаціонарному) стані відносно цих тіл. Здавалося б, що таких точок лише дві і лежати вони повинні на прямій, яка з'єднує центральне масивне тіло та його супутник. Але так було б, якби супутник та планета перебували у стаціонарному стані, тобто не оберталися. Наявність обертального руху призводить до того, що точок динамічної рівноваги в гравітаційному полі системи трьох тіл – точок Лагранжа – не дві, а п'ять!

Усі точки Лагранжа лежать у площині обертання масивних тіл. Точки, що перебувають на одній лінії з двома масивними тілами, називають колінеарними. Коли маса тіла M_2 набагато менша, ніж маса тіла M_1 , і масою M_2 можна практично знехтувати (наприклад, у системі Сонце–Земля), точки L_1 та L_2 розташовані на однаковій відстані у протилежних напрямках від тіла M_2 . У системі Сонце–Земля точка L_1 розташована на відстані 1,5 млн км від центру Землі, у системі Земля–Місяць – на відстані 64 500 км від Місяця.

Точки Лагранжа L_4 та L_5 розташовані симетрично відносно лінії M_1M_2 та утворюють вершини двох рівносторонніх трикутників з основою в точках M_1 та M_2 . У цьому разі орбіта тіла незначної маси



Мал. 12. Точки Лагранжа

збігається з орбітою менш масивного тіла M_2 . Точка L_4 випереджає його у русі на 60° , а точка L_5 відстає від M_2 на 60° . Стабільні орбіти маломасивного тіла навколо точок L_4 та L_5 позначено на мал. 12 синіми трикутниками. Точки Лагранжа L_4 та L_5 називають троянськими точками. У троянських точках (на відміну від колінеарних) забезпечується стабільна рівновага, якщо співвідношення між масами тіл $M_1/M_2 > 25$. Таке співвідношення властиве системам Сонце–Юпітер, Сонце–Земля, Земля–Місяць. У разі невеликого відхилення від троянських точок маломасивний об'єкт згодом повернеться до цієї точки.

Завдяки стійкості орбіт маломасивних тіл поблизу троянських точок в цих областях відбувається накопичення речовини, зокрема космічного пилу. Одним із проявів цього ефекту в системі Земля–Місяць є так звані Хмари Корділевського. Ці Хмари вперше спостерігав польський вчений Казімеж Корділевський в жовтні 1956 року як світні області на фоні нічного неба з кутовим розміром приблизно 2° . Підтвердженням існування цих хмар є результати досліджень, отримані у 1969–1970 роках на космічному апараті OSO-6. За даними OSO-6, приблизна маса пилових Хмар Корділевського становить приблизно 10 000 т, поперечний розмір Хмар – 30 000 км.

Ще одним цікавим оптичним явищем, яке можна спостерігати на нічному небі, є зодіакальне сяйво – свічення в області площини

Мал. 13. Зодіакальне сяйво



Мал. 14. Протисяйво

ни земної орбіти (екліптики), що утворюється внаслідок розсіяння сонячного світла хмарою пилових частинок, які оточують Сонце. Зодіакальне сяйво видно як світну смугу, що простягається вздовж екліптики, звідси й назва цього оптичного явища.

Зодіакальне сяйво найкраще спостерігати на заході невдовзі після заходу Сонця або на сході незадовго перед його сходом. Сезонні умови теж впливають на умови видимості зодіакального сяйва. Зодіакальне сяйво найкраще спостерігати в безмісячні ночі у низьких широтах Землі (поблизу екватора) перед рівноденням, коли екліптика перетинає горизонт під максимальним кутом, тобто навесні ввечері або вранці восени.

Зодіакальне сяйво має форму дифузного світлого трикутника (Мал. 13) і розширюється у напрямку до Сонця. Яскравість зодіакального сяйва спадає зі збільшенням кутової відстані від Сонця (елонгації). За елонгації в $90-100^\circ$ зодіакальне сяйво майже невидиме. За елонгації в 180° в ділянці неба, протилежній до Сонця, яскравість зодіакального сяйва зростає. Тому тут можна спостерігати невелику світлу дифузну пляму діаметром приблизно 10° – протисяйво (Мал. 14). Фізичну природу зодіакального сяйва та протисяйва розкрив у 1683 році французький астроном Дж. Кассіні.

Походження пилових часток, що викликають протисяйво і зодіакальне сяйво, наразі достеменно невідоме. Джерелом пилових частинок вважають процеси руйнування астероїдів і комет та процеси поступового дроблення їхніх залишків, а також винесення пилу кометами з хмари Оорта².

Найчисельніше плем'я на Землі

Можна впевнено стверджувати: ми живемо у світі комах. Їх на нашій планеті вчені налічують не менше двох мільйонів видів – значно більше, ніж усіх видів тварин (та й рослин!) разом. Комахи – одні з найдавніших організмів: вік багатьох сучасних рядів – щонайменше 200–300 млн років.

Людині є чого повчитися у комах. Зубчату передачу, з якою знайомий кожен, хто хоч раз катався на велосипеді, раніше нас винайшла личинка жука родини *Issidae*; бабка стала праобразом гвинтокрила; світлячки надихнули інженерів на створення ефективних світлодіодів; двограмова моль імітує систему радіолокаційного виявлення 150-тонного літака ворога. Метелики, оси, сонечка надихають дизайнерів, а у бджоли можна повчитися працелюбності.

Наше око не розрізняє поляризоване світло, а комахи використовують його як компас. Мурахи бачать в ультрафіолетовому діапазоні, метелики-совки чують ультразвук, а терміти орієнтуються за магнітним меридіаном. Нюх у комах теж неймовірний.

Більшість комах – не шкідливі, а деякі з них – наші добрі друзі. Комахи – санітари природи. Вони прибирають гній і залишки мертвих тварин, допомагають рости деревам, утримують в чистоті ґрунт і дають нам шовк і мед. У багатьох країнах коників, сарану і гусінь вживають в їжу як вишуканий делікатес і дешеве джерело білка.

Але наше співжиття з комахами на Землі має й іншу, не таку привабливу сторону. Величезної шкоди завдають комахи здоров'ю людини, сільському і лісовому господарствам, продуктам, що зберігаються на складах, музейним експонатам і книжкам у бібліотеках. Скільки людей загинуло від голоду і хвороб після нашествия сарани у країнах Південної Азії та Африки! Скільки прикросців завдають набридливі „домашні” мухи! В Україні варто остерігатися жалких комах (ос, джмелів та бджіл) та волохатої гусені метеликів, яскраве забарвлення яких попереджає: „Ми – отруйні!”