

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія економіки, соціально-гуманітарних та  
фундаментальних дисциплін**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

**з навчальної дисципліни «Фізика»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**

**272Авіаційний транспорт  
Технології робіт та технологічне обладнання аеропортів**

**за темою - Електромагнітні коливання і хвилі**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 22.02.2024 №2

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного  
коледжу Харківського  
національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 17.01.2024 №6

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з гуманітарних та соціально-  
економічних дисциплін  
Протокол від 22.02.2024 №2

Розглянуто на засіданні циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, протокол від 05.01.2024 №14

**Розробник:**

*Викладач циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, Пузир М.С.*

**Рецензенти:**

*1.Доцент кафедри автомобілів та тракторів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, кандидат технічних наук, доцент Черниш А.А.*

*2.Начальник відділу організації наукової роботи та гендерних питань КЛК ХНУВС, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Владов С.І.*

## План лекції

1. Властивості електромагнітних хвиль.
2. Принцип радіозв'язку
3. Радіолокація
4. Радіо-, рентгенівські та гамма-телескопи.

## Рекомендована література:

### Основна

1. Дмитрієва В. Ф. Фізика: навчальний посібник / В. Ф. Дмитрієва. – К.: Техніка, 2008. – 608 с.

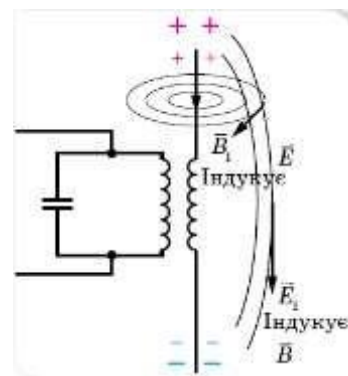
### Додаткова

2. Курс фізики : навчальний посібник / [Зачек І. Р., Кравчук І. М., Романишин Б. М., Габа В. М., Гончар Ф. М.]. – Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2002. – 376 с.
3. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – 224 с.
4. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.2: Коливання і хвилі. Хвильова і квантова оптика. Елементи квантової механіки. Основи фізики твердого тіла. Елементи фізики атомного ядра : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 208 с.
5. Збірник задач з фізики : навчальний посібник / [Лопатинський І. Є., Зачек І. Р., Серєда В. М., Крушельницька Т. Д., Українець Н. А.]. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. – 124с.

## Текст лекції

**1 Властивості електромагнітних хвиль.** Як ви знаєте, можливість існування електромагнітних хвиль теоретично довів Джеймс Максвелл. У своїх теоретичних розрахунках Максвелл показав, що якби електромагнітна хвиля існувала, то вона б мала поширюватись у середовищі зі швидкістю світла. Що підтверджувало, що світло — це один з діапазонів електромагнітних хвиль. Практично отримав їх Генріх Герц у 1888 р.

Для отримання електромагнітних хвиль використовують *відкритий*



коливальний контур, який складається з двох провідників, з'єднаних один з одним через котушку індуктивності (мал). Відкритий коливальний контур випромінює електромагнітні хвилі, оскільки в процесі коливань у контурі електрони рухаються з прискоренням. Ефективність контура залежить від розмірів антени: вона не повинна бути меншою від четвертої частини найбільшої довжини хвилі, яка має випромінюватися. Мінімальна довжина антени:

$$L = \frac{\lambda}{4}$$

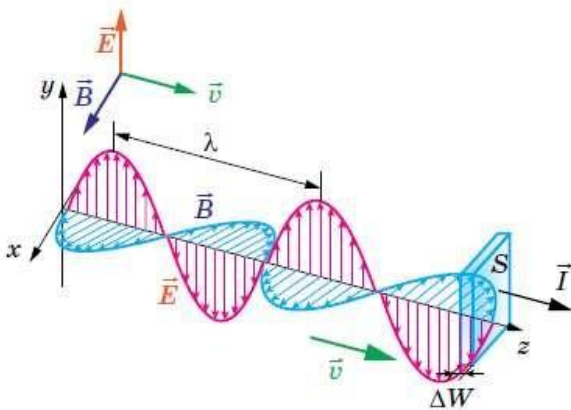
Оскільки електромагнітні хвилі генеруються електричним струмом, тобто зарядженими частинками, що рухаються з прискоренням, то правильним буде й загальне твердження: *електричний заряд під час прискореного руху є джерелом електромагнітних хвиль.*

Оскільки електромагнітні хвилі генеруються електричним струмом, тобто зарядженими частинками, що рухаються з прискоренням, то правильним буде й загальне твердження: *електричний заряд під час прискореного руху є джерелом електромагнітних хвиль.*

**Електромагнітні хвилі** — це явище поширення в просторі електромагнітних коливань, тобто взаємопов'язаних коливань електричного й магнітного полів, які являють собою єдине електромагнітне поле. У довільній точці вектори

$$\vec{E} \text{ і } \vec{B}$$

взаємно перпендикулярні та перпендикулярні до напрямку поширення (мал).



Вивчаючи механічні хвилі, ми ознайомились із деякими характеристиками хвильового руху: фронт хвилі, промінь, довжина хвилі. Усі ці поняття застосовні і для електромагнітних хвиль. В усіх інерціальних системах швидкість поширення електромагнітних хвиль у вакуумі однакова й дорівнює

$$c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

У речовинах швидкість поширення електромагнітних хвиль залежить від електричних і магнітних властивостей середовища і зменшується в  $n$  разів:

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon\mu},$$

відповідно діелектрична та магнітна проникності середовища.

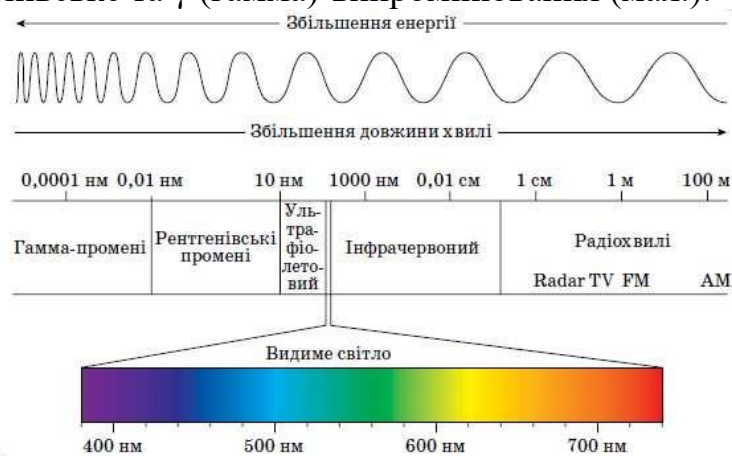
### Довжина електромагнітної хвилі:

$$\lambda = cT = 2\pi c\sqrt{LC}$$

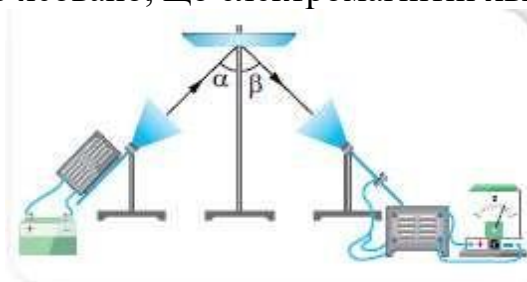
Звертаємо увагу на те, що під час переходу з одного середовища в інше частота коливань не змінюється. Змінюється швидкість поширення та довжина хвилі. Електромагнітні хвилі є *поперечними хвилями*, але на відміну від механічних хвиль у них відбуваються коливання полів, а не речовини. За довжиною хвилі  $\lambda$  або частотою коливань ( $\nu$ ) межі діапазону електромагнітних хвиль

$$10^{11} \text{ м (} 3 \cdot 10^{-3} \text{ Гц)} \text{ до } 10^{-11} \text{ м (} 3 \cdot 10^{19} \text{ Гц)}$$

Цей діапазон уміщує радіохвилі, інфрачервоне, видиме, ультрафіолетове, рентгенівське та  $\gamma$  (гамма)-випромінювання (мал.).

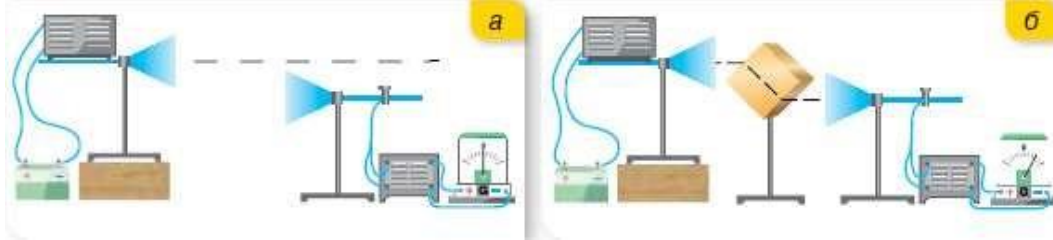


Ще Генріх Герц провів низку дослідів з вивчення властивостей електромагнітних хвиль. Для проведення подібних досліджень використовують генератор і приймач електромагнітних хвиль, що мають спеціальні рупорні антени для забезпечення напрямленого випромінювання та прийому хвиль. Індикатором прийому хвиль слугує вольтметр. Унаслідок проведених дослідів було з'ясовано, що електромагнітні хвилі **відбиваються** провідником (мал.).

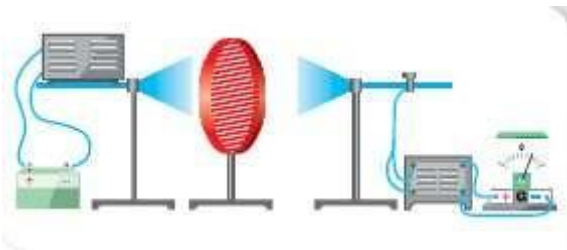


Кут відбиття електромагнітних хвиль, як і хвиль будь-якої іншої природи, дорівнює куту падіння. Під час падіння електромагнітної хвилі на деяку поверхню, що розмежовує середовища, частина енергії хвилі відбивається від поверхні іншого середовища, частина проникає всередину його, причому певна кількість енергії може пройти крізь середовище, якщо воно прозоре для електромагнітної хвилі, решта енергії поглинається середовищем, спричиняючи його нагрівання або інші процеси. Отже, на межі двох середовищ електромагнітна хвиля поділяється на відбиту хвилю і хвилю, що проходить у

середовище, при цьому напрямок поширення хвилі в середовищі відрізняється від початкового — хвиля зазнає *заломлення*. Спостерігати заломлення електромагнітних хвиль можна на такому досліді. Розташуємо рупори антен так, щоб сигнал не потрапляв у приймальну антену (мал.а). Якщо ж розташувати між рупорами антен прямокутну призму з діелектрика (наприклад, парафіну), то прийом сигналу відбувається (мал.б).



Дослід доводить, що електромагнітні хвилі заломлюються на межі двох середовищ. Зрозуміло, що закон заломлення електромагнітних хвиль такий самий, як у випадку світлових хвиль.



На досліді можна також спостерігати *поляризацію* хвиль і переконатись у тому, що електромагнітні хвилі — *поперечні*. Для цього між генератором і приймачем розміщують решітку з паралельних металевих стержнів (мал. 139). Повертаючи решітку,

спостерігають підсилення прийнятого сигналу і його послаблення аж до повної відсутності. Приймання відсутнє тоді, коли вектор напруженості електричного поля  $\vec{E}$  падаючої електромагнітної хвилі паралельний стержням. За цих умов у стержнях збуджуються струми, і решітка відбиває падаючі хвилі подібно до суцільної металевої пластини. Якщо вектор  $\vec{E}$  перпендикулярний до стержнів, значні струми не збуджуються, і електромагнітна хвиля проходить крізь решітку. Отже, електромагнітна хвиля поляризована — вектор напруженості має фіксовану площину коливань.

### Власна частота коливань

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Застосовуючи формулу

зв'язку між періодом коливань  $T$  і частотою  $\nu$ , визначимо *власну частоту коливань* у контурі:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Із цієї формули видно, що для одержання в контурі коливань високої частоти ємність й індуктивність контура мають бути якомога меншими.

## 2 Принцип радіозв'язку

Радіозв'язок — передання й прийом інформації за допомогою радіохвиль, що поширюються в просторі без проводів.

Принцип радіозв'язку полягає ось у чому: змінний електричний струм високої частоти, створений у передавальній антені, спричиняє в навколишньому просторі швидкозмінне електромагнітне поле, що поширюється

у вигляді електромагнітної хвилі. Досягаючи приймальної антени, електромагнітна хвиля зумовлює в ній змінний струм тієї ж частоти, на якій працює передавач.

Для здійснення радіотелефонного зв'язку необхідно використовувати високочастотні коливання, інтенсивно випромінювані антеною. Для передання звуку ці високочастотні коливання змінюють за допомогою електричних коливань низької частоти (цей процес називають модуляцією).

У приймачі з модульованих коливань високої частоти виділяються низькочастотні коливання (цей процес називають детектуванням). Отриманий у результаті детектування сигнал відповідає тому звуковому сигналу, що діяв на мікрофон передавача. Після посилення коливання низької частоти можуть бути перетворені у звук.

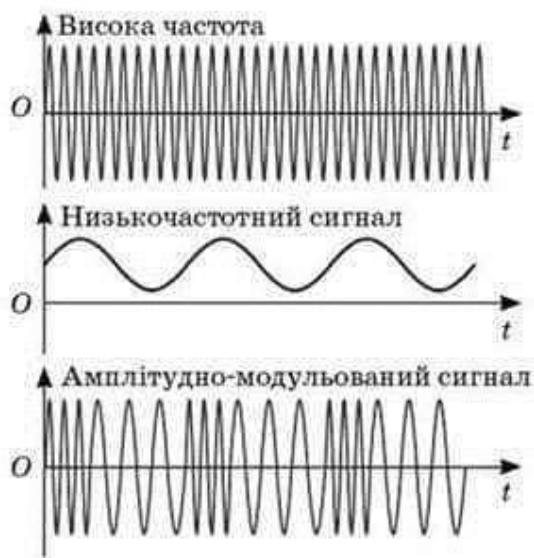
### Модуляція

Для здійснення радіотелефонного зв'язку насамперед необхідно перетворити звукові коливання в електричні. Цю функцію виконує мікрофон.

Здавалося б, залишається передати отримані електричні коливання в антену передавача й одержати в просторі електромагнітну хвилю. Але практично це неможливо: частоти звукових коливань (до 20 кГц) дуже малі для утворення електромагнітної хвилі помітної потужності (потужність випромінюваної хвилі пропорційна частоті в четвертому ступені).

Для здійснення радіотелефонного зв'язку необхідно використати високочастотні (ВЧ) коливання, інтенсивно випромінювані антеною. ВЧ-коливання виробляє генератор, наприклад генератор на транзисторі. Для передання звуку ці ВЧ коливання змінюють за допомогою коливань низької (НЧ) або звукової частоти.

О Процес модуляції полягає в зміні одного або декількох параметрів високочастотного коливання за законом переданого повідомлення (низькочастотного коливання).

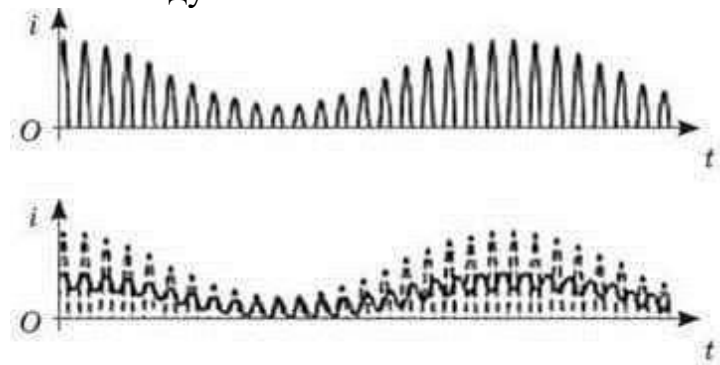


Модульовану хвилю високої частоти випромінює передавальна антена. Зустрінувши на своєму шляху провідник належної форми й розмірів (приймальну антену), модульована хвиля починає “розгойдувати” у ньому вільні заряди, у результаті чого в приймальній антені виникають електричні коливання, а в передавальній антені – “повторювальні” електричні коливання.

### Детектування

Отже, у приймальній антені виникають електричні коливання, у передавальній антені – “повторювальні” електричні коливання. При цьому з модульованих коливань високої частоти виділяють низькочастотні коливання (цей процес називають детектуванням).

О Детектування – процес виділення низькочастотних (звукових) коливань із прийнятих модульованих коливань високої частоти.



Залишається перетворити електричні коливання у звукові. Це роблять за допомогою динаміка.

### Принцип радіотелефонного зв'язку

Основні етапи одержання й перетворення радіосигналу:

- 1) генератор незатухаючих електромагнітних коливань створює високочастотні коливання, частота яких дорівнює власній частоті коливань коливального контуру;
- 2) високочастотні коливання модульовано коливаннями переданого повідомлення;
- 3) отримані модульовані коливання підсилюються й подаються в передавальну антену, що випромінює електромагнітні хвилі в навколишній простір;
- 4) досягнувши приймальної антени, електромагнітні хвилі збуджують у ній високочастотні коливання;
- 5) слабкі високочастотні коливання підсилюються й подаються в детектор;
- 6) після детектування з модульованих коливань виділяються коливання низької частоти, які посилюються й перетворюються у звук.

Принципова схема сучасного радіотелефонного зв'язку зображена на рисунку.





### 3 РАДІОЛОКАЦІЯ

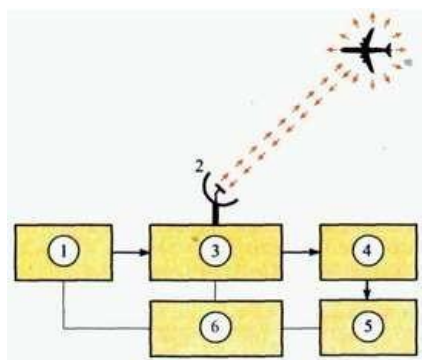
Явище відбивання електромагнітних хвиль радіодіапазону покладено в основу дії технічних пристроїв, які дістали назву радіолокаторів. Їх застосовують для визначення положення віддалених тіл, зокрема літаків, ракет, кораблів.

Процес виявлення віддалених предметів за допомогою електромагнітних хвиль радіодіапазону називають радіолокацією.

Радіолокацію здійснюють за допомогою комплексу приймально-передавальної апаратури, який називають радіолокатором (мал).

Для збільшення точності в радіолокаторах використовують радіохвилі метрового або сантиметрового діапазону. Такі хвилі легко фокусувати і формувати вузький пучок. Висока частота радіохвиль цього діапазону забезпечує також значну дальність дії радіолокатора.

До складу радіолокаційної станції (РЛС) (мал. 4.23) входять радіопередавач (1), антена (2) комутатор (3), радіоприймач (4), пристрій аналізу інформації (5), блок живлення (6).



#### Склад РЛС

Передавач радіолокатора працює в так званому імпульсному режимі. Він генерує електромагнітні коливання, тривалість яких становить декілька десятків періодів коливань генератора. Радіоімпульси надходять до антени, яка випромінює в певному напрямку короточасні імпульси радіохвиль. Комутатор у цей час замикає вхід радіоприймача, оберігаючи його від руйнування потужними електромагнітними коливаннями, які надходять від передавача. Реєструвальний пристрій у цей час фіксує момент проходження імпульсу.



У радіолокаторах використовуються властивості електромагнітних хвиль

Радіолокатор працює в імпульсному режимі. Антена радіолокатора випромінює імпульс електромагнітних хвиль і приймає хвилі, відбиті речовинним об'єктом.

Як реєструвальний пристрій застосовують електроннопроменеву трубку, в якій електронний промінь у якій переміщується горизонтально (мал.).



режимі імпульс відбиті

найчастіше трубку,

Частоту розгортки електронного променя встановлюють залежно від потужності і далекодії радіолокатора. Чим більша далекодія локатора, тим менша частота розгортки.

Імпульс радіохвилі поширюється в просторі, доки не натрапить на якусь перешкоду — літак, корабель чи грозову хмару. Значна частина енергії радіохвилі розсіюється під час відбивання внаслідок того, що поверхня перешкоди практично ніколи не буває плоскою. До антени радіолокатора повертається лише незначна частина енергії радіохвилі.

Інтервал часу між двома імпульсами обирають таким, щоб радіолокатор «мовчав» протягом часу, потрібного для повернення сигналу від об'єкта, що знаходиться на максимально досяжній для даного радіолокатора відстані.

Під час паузи, коли сигнал не надходить до антени, комутатор з'єднує антену з приймачем, який виділяє і підсилює відбитий сигнал та подає повідомлення про нього в реєструвальний пристрій. Якщо використовують згадану вище електронно-променеву трубку, то на її екрані з'являється друга позначка. Знаючи частоту розгортки, швидкість поширення хвилі, можна визначити час проходження імпульсу до перешкоди і назад. Цього достатньо, щоб обчислити відстань до неї:

$$l = \frac{c \Delta t}{2}.$$

Антену радіолокатора випромінює імпульси радіохвиль

Коли до антени радіолокатора приєднаний приймач, генератор не працює

Відстань до перешкоди можна розрахувати, знаючи швидкість хвилі та інтервал часу між випроміненим і відбитим імпульсами

Як правило, оператор радіолокаційної станції не проводить таких розрахунків. Він зчитує відстань безпосередньо зі шкали, нанесеної на екран електронно-променевої трубки. Останнім часом як аналізатор і реєструвальний пристрій сигналів у радіолокаторах застосовують спеціальні електронні процесори.

Радіолокатори використовують у військовій справі для виявлення літаків і суден. У цивільній авіації вони забезпечують безпеку руху повітряних та морських лайнерів. За допомогою радіолокаторів одержано найточніші дані про відстані від Землі до інших планет Сонячної системи.

#### 4 Радіо-, рентгенівські та гамма-телескопи.

Джерелами електромагнітного випромінювання є космічні об'єкти. В астрономії працюють з усіма довжинами хвиль, з яких складається електромагнітний спектр. Оскільки атмосфера Землі пропускає не всі види випромінювань, науковці шукають шляхи вирішення цієї проблеми. Багато століть поспіль люди спостерігали зоряне небо лише через вузьке «оптичне вікно» атмосфери. З XIX ст. Всесвіт почали вивчати в інфрачервоних променях. На початку 30-х років XX ст. з розвитком радіотехніки стало можливим дослідження небесних об'єктів у радіодіапазоні. Із середини XX ст., коли з'явилася можливість відправити за межі атмосфери Землі наукові прилади, астрономи отримали змогу виконувати спостереження небесних тіл у всьому діапазоні електромагнітного спектра. Принципова схема будови *радіотелескопа* не відрізняється від будови телескопа-рефлектора: космічне радіовипромінювання збирає металеве дзеркало параболічної форми — іноді суцільне, іноді ґратчасте, а приймач радіохвиль — не людське око, фотопластинка чи цифрова матриця, а високочутливий радіоприймач. Дзеркало фокусує радіохвилі на антену, внаслідок чого в ній виникає швидкозмінний електричний струм, який спеціальні провідники — хвилеводи — передають до радіоприймача, з'єднаного з комп'ютером.



На малюнку *a* зображено найбільший у світі радіотелескоп. Його антени нерухомі й завжди спрямовані в зеніт, але внаслідок



добового обертання Землі та можливості зміщувати опромінювач їм доступна значна частина небесної сфери. В Україні під Харковом працює найбільший у світі радіотелескоп декаметрового діапазону — УТР-2 (мал б). Упродовж багатьох років на УТР-2 було отримано величезний обсяг астрофізичної інформації. Доступними для досліджень виявилися практично всі об'єкти Всесвіту — від найближчого оточення Землі й Сонячної системи до нашої Галактики та найвіддаленіших об'єктів — радіогалактик і квазарів. Для суттєвого підвищення роздільної здатності радіотелескопів астрономи використовують радіоінтерферометри — пристрої, що працюють в радіодіапазоні з використанням інтерференції. Телескопи, що реєструють випромінювання небесних тіл у діапазоні високих енергій (рентгенівські та гамма), ще називають детекторами (мал).