

## Proba experimentală

### Propagarea undelor radio

Undele electromagnetice joacă un rol important în viețile noastre. Multe aplicații sunt construite pe baza proprietăților de propagare ale acestor unde. În experiment vei studia propagarea undelor radio, în apă, în aer și în ghiduri de undă.

### Aparatură

- Un emițător de unde radio monocromatice într-o carcasă impermeabilă, rezistentă la apă (frecvența acestuia este în domeniul 200MHz la 5GHz), marcat cu eticheta “A” în Figura 1; poziția sursei de unde este indicată în figură printr-o linie punctată. Acesta este împerecheat cu un receptor “B”, care măsoară puterea  $P$  a undelor electromagnetice recepționate și indică rezultatul în decibeli [citirea în decibeli =  $10 \log_{10} \left( \frac{P}{1 \text{ mW}} \right)$ ]. Receptorul face o citire la fiecare 15 secunde. Poziția sensorului este marcată cu un triunghi roșu pe dispozitiv. **Atenție! Receptorul nu este rezistent la apă! Carcasa emițătorului este rezistentă la apă și este încapsulată; nu ți se permite să o deschizi!**
- Un set de tuburi metalice “C” de diametre diferite (diametrele interioare  $d_1 = 41\text{mm}$ ,  $d_2 = 46\text{mm}$ ,  $d_3 = 59\text{mm}$ ,  $d_4 = 100\text{mm}$ ).
- Un tub de plastic “D” care are unul dintre capete închis cu un capac.
- O cutie de plastic “E” cu fundul plat. Defazarea undelor radio la trecerea prin pereții cutiei poate fi presupusă a fi neglijabil de mică.
- O rolă de folie de aluminiu “F”
- Patru bucăți de polistiren expandat “G”, din care se poate construi un suport ecranat pentru emițător, așa cum se arată în Figura 2.
- O rigla “H”.
- O găleată cu apă “I”, o cană cu mâner “J”, un pahar de plastic “K” și șervețele “L”.
- O sfoară subțire “M”, o clamă “N”, o rolă de bandă adezivă “O”, inele de cauciuc “P” și o baghetă de lemn “Q”.

Fiecare emițător este acordat cu receptorul său, care elimină semnalele tuturor celorlalte emițătoare. Totuși trebuie să ai în vedere că undele radio sunt reflectate de toate obiectele din camera, inclusiv de către corpul omenesc, producându-se astfel interferențe ale undelor. Ca urmare, dacă ții mâinile aproape de receptor sau dacă te miști, poți afecta măsurările indicate de receptor. Puterea recepționată de receptor depinde de asemenea de orientarea reciprocă a receptorului și emițătorului. Fii foarte atent cu ecranarea făcută din folie: chiar



## 4 Probleme, concursuri, olimpiade

---

și găuri mici și goluri (de exemplu spații între folia și cutia din Figura 2) pot produce pierderi ale undelor.

Sarcinile 1-4 sunt independente și pot fi făcute în orice ordine. Schițează toate montajele experimentale folosite, evidențiind detaliile importante, scrie toate formulele pe care le folosești, tablează toate datele măsurate și fă toate graficele adecvate. Nu este necesar să estimezi erorile, dar încearcă să faci măsurările, cât mai precis cu putință.

### Sarcina 1. Sensibilitatea receptorului. (1p)

Care este cea mai mică putere recepționată măsurată? (exprimată în mW)?

### Sarcina 2. Lungimea de undă în apă. (6p)

Determinați lungimea de undă a undelor radio în apă. Puteți utiliza instalația experimentală arătată în figura 2.

În itemii următori veți studia propagarea undelor în tuburi metalice umplute cu diferite substanțe (aer sau apă). În acest caz unda este descrisă de:

$$\vec{E} = \vec{E}_0(r, \varphi) e^{-\alpha z} e^{i(kz - \omega t)}, \quad (1)$$

unde  $\vec{E}$  este vectorul câmpului electric,  $\alpha$  descrie atenuarea datorată disipării în mediu (pentru apă  $\alpha > 0$ , pentru aer  $\alpha = 0$ ). Ecuația este scrisă în coordonate cilindrice  $r, \varphi, z$ . Aici  $i$  – este unitatea imaginară

Funcția  $\vec{E}_0(r, \varphi)$  reprezintă unda staționară prin secțiunea transversală a ghidului de undă. Diferite unde staționare corespund diferitor moduri (tipuri de oscilații) de propagare a undelor în ghidul de unde. Relația de dispersie pentru undele din ghidul de unde este dată de:

$$\omega^2 = (k_*^2 + k^2) c^2, \quad (2)$$

unde  $c$  este viteza luminii în mediul care umple ghidul de unde,  $k_*$  este o constantă pozitivă, care depinde doar de diametrul tubului și a modului dat. În acest experiment toate modurile de propagare cu excepția celor cu  $k_*$  foarte mic, pot fi neglijate.

Fiți atent la faptul că o undă se poate propaga de-a lungul ghidului fără atenuare (cu vectorul de undă  $k$  real), doar dacă frecvența oscilațiilor este suficient de înaltă,  $\omega \geq ck_*$ . Ecuațiile (1) și (2) rămân în vigoare pentru frecvențe mai mici considerând un vector de undă pur imaginar  $k = i\mu$ , care corespunde modului de amortizare (evanescent)

### Sarcina 3. Absorbția în apă (3p)

Determinați coeficientul de atenuare  $\alpha$  în apă. Sugestie: undele radio se pot propaga de-a lungul tubului din plastic, când acesta este umplut cu apă și înfășurat strâns cu folie de aluminiu; Utilizați banda pentru a ca tubul să nu cadă.

**Sarcina 4a. Moduri amortizate în ghidul de unde umplut cu aer (2p)** Plasați emițătorul în in tubul din aluminiu cu diametrul  $d_1 = 46$  mm și studiați cum puterea  $P$  a undelor recepționate de receptor la capătul tubului depinde de distanța  $z$  dintre receptor și emițător. Din măsurările lui  $P$  în funcție de  $z$  determinați valoarea parametrului  $\mu$  a modului de amortizare.

**Sarcina 4b. (5p)** Executați o serie de măsurări pentru a determina cum parametrul  $\mu$  depinde de diametrul  $d$  al tubului.

Sugerați o dependență funcțională între aceste mărimi și verificați-vă ipoteza experimental.

**Sarcina 5. Lungimea de undă în aer și indicele de refracție al apei (3p)** Determinați lungimea de undă a acestor unde radio în aer și calculați indicele de refracție al acestor unde radio pentru apă.

## Proba Teoretică

### 1 Granule de gheață

Un fenomen atmosferic interesant are loc când profilul temperaturii aerului suferă o inversie. Linia continuă din figura 1 descrie o așa dependență a temperaturii de înălțime. Inversia se produce între 1 km și 2 km.

În aceste condiții zăpada care cade prin atmosferă se topește (parțial) în stratul mai cald și îngheață din nou (parțial) înainte de a cădea la sol sub formă de “granule de gheață”.

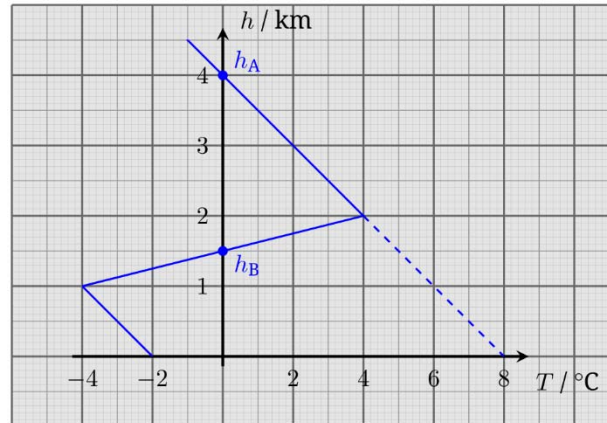


Figura 1: Temperatura  $T$  a atmosferei, ca funcție de înălțimea  $h$  deasupra solului.

Presupuneți că o picătură mică, sferică de gheață se topește aproape complet când trece prin stratul atmosferic dintre  $h_A$  și  $h_B$ , în care temperatura este peste punctul de îngheț.

- Determinați partea din masa picăturii care îngheață înainte de a atinge solul.
- Determinați, cât mai precis posibil, temperatura picăturii la nivelul solului, dacă nu ar fi fost inversia de temperatură, iar dependența temperaturii de înălțime ar fi descrisă de linia întreruptă din figură, sub înălțimea de 2 km.

Neglijăți evaporarea, condensarea și modificarea dimensiunii picăturii. Presupuneți că gheața și apa au o conductibilitate termică mare, iar densitatea atmosferei este aceeași la orice înălțime

Utilizați valorile  $c_{water} = 4,2 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$  și  $c_{ice} = 2,1 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$  pentru căldurile specifice ale apei și gheții, respectiv. Căldura latentă de topire a gheții este:  $L = 334 \text{ kJ kg}^{-1}$ .

### 2 Mișcarea unei bile încărcate electric

O bilă sferică omogenă, de masă  $m$  și raza  $R$  confecționată dintr-un material izolator, are sarcina  $Q$ , distribuită în volumul sferei. Bilei, plasată pe o suprafață orizontală întinsă, îi este imprimată o mișcare de rotație fără alunecare, în așa mod încât centrul sferei începe mișcarea cu viteza inițială orizontală  $v_0$ . Un câmp magnetic omogen cu inducția  $B$  acționează perpendicular pe suprafața orizontală. Coeficientul de frecare static este destul de mare, astfel că bila nu alunecă pe suprafața orizontală. Momentul de inerție al bilei în raport cu axa ce trece prin centrul acesteia este  $2mR^2/5$ .

Descrieți mișcarea centrului bilei și determinați forma traiectoriei.

Sugestie: Ați putea utiliza identitatea:

$$\vec{a} \times (\vec{b} \times \vec{c}) = \vec{b}(\vec{a} \cdot \vec{c}) - \vec{c}(\vec{a} \cdot \vec{b}),$$

valabilă pentru oricare trei vectori  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$  și  $\vec{c}$ .

## 6 Probleme, concursuri, olimpiade

### 3 Furtun de apă

Un jet de apă iese din capătul unui furtun cu o viteză constantă necunoscută  $v$ . Un copil se joacă cu furtunul, rotindu-l aleatoriu într-un plan vertical fix  $x - y$ . Capătul furtunului este menținut la poziția  $x = y = 0\text{m}$ , iar unghiul dintre axa jetului de apă, care iese din furtun și axa orizontală niciodată nu este mai mic de  $45^\circ$ . În fiecare moment de timp jetul în aer are o formă neregulată. Forma jetului de apă la un moment anume este arătată în figura de mai jos.

Folosind această figură, determină viteza  $v$  de ieșire a apei, dacă accelerația căderii libere este  $g = 9,8\text{ m/s}^2$ .

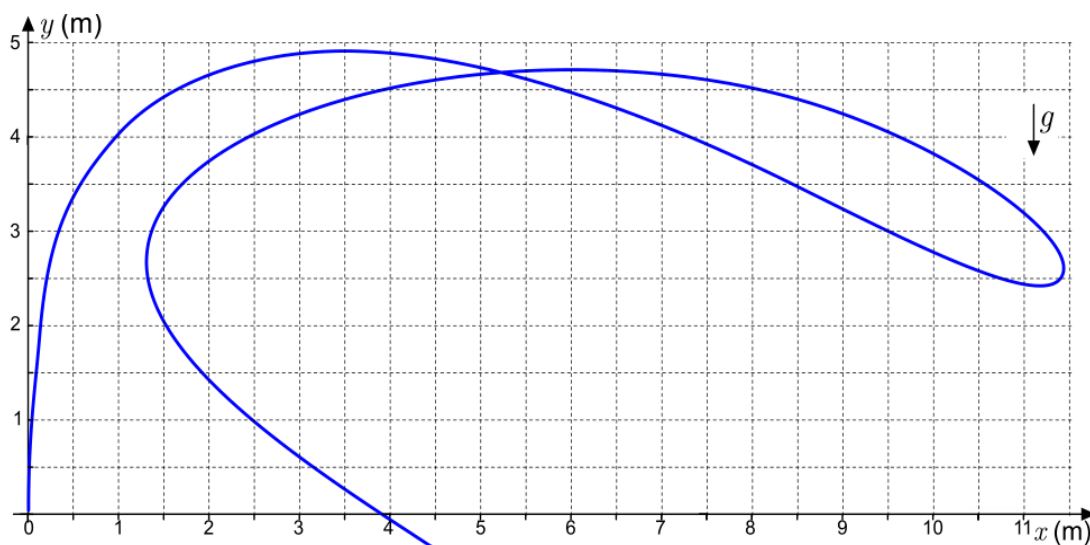


Figura 2: Forma jetului de apă, la un anumit moment de timp (o versiune mărită a figurii este dată pe o foaie separată).