**£** 13. Акустика

В задачах данного раздела используются данные таблиц 1**1** и**12** приложения.

1. Найти длину**1** волны Я основного тона ля (частота  
   **v** = 435 Г ц). Скорость распространения звука в ..ухе  
   **с** = 340 м/с.

Решение:

Длина волны основного тона ля **Л = сТ** —(1). где 7 —пе-  
риод колебаний воздуха. Поскольку частота колебаний

**v = ~** — (**2**), то, подставляя (**2**) в (**1**), по..} чаем

**Л- — =** 0,78 м.  
**v**

1. Человеческое ухо может воспринимать звуки частотой  
   приблизительно от и, **=20Гц** до и, = 20000 Гц. Между какими  
   длинами волн лежит интервал слышимости звуковых колебаний?  
   Скорость распространения звука в воздухе **с =** 340 м с.

Решение:

с

Длина волны звуковых колебаний (см. задачу **13.1)** а - **—.**

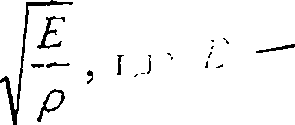
*v*

Интервал слышимости звуковых колебаний лежит между

длинами волн Я, - — = 17 м и Я, = — = 0.01 7 м =■ 1 7 . к  
у, ‘ т\

1. Найти скорость **с** распространения звука в стал.  
   Решение:

Скорость распространения акустических колебаии;' л не'  
которой среде определяется формулой **с =**



**р** — плотность среды. Для стали

1. **10**"’ кг/м3, тогда скорость звука в
2. Найти скорость **с** распространения звука в меди.  
   **Решенне:**

**||дуль Юнга среды,  
^=216ГПа и р = 7,  
&щт сс - 5296 м/с.**

Скорость распространения акустических колебаний в не-

, где **Е** —

**(которой среде определяется формулой с= —**

***р***

Модуль Юнга среды, **р** — плотность среды. Для меди  
£ = 118 ГПа и **/3** = **8,6** 10 кг/м, тогда скорость звука в  
$еди с = 3704м/с.

1. Скорость распространения звука в керосине **с** = 1330 м/с.  
   Н^Йги сжимаемость **р** керосина.

решение:

Модуль Юнга **Е** связан со сжимаемостью Д соотношени-  
ем В = —, где **Е** = рс2. Отсюда **В** = —Ц- = 7Д • 10**-10** Па"1.

Е рс

1. При помощи эхолота измерялась глубина моря. Какова  
   была глубина моря, если промежуток времени между возни-  
   кновением звука и его приемом оказался равным **t** = 2,5 с? Сжи-  
   маемость воды **р** = 4,6-10'**10**Па"1, плотность морской воды  
   **р-**1,03-103 кг/м3.

Решение:

Скорость распространения акустических колебаний внекоторой среде определяется формулой **с-** — п),

V Р

Модуль 10 lira с вяла!! со сжимаемостью соотиол,.. ;им

£ = — — **(2).** П о дета зля я (**2) б (1**\ получаем **с.~** :~**1**\_  
**р** ' ■ \ **Гр** ’

С i 1 1 i

тогда глубина ’ноля Ь - — = — !— -1815м.

2 2 \рр

1. Найти скорость **с** распространения звука б воэ,;> ••: при  
   температурах г, равных: -**20,0** и 20° С.

Решение:

Скорость распространения акустических колебаний в : азах

Шт т

**с — I** , где **и** — молярная масса газа, **Т** — .осо-

*\ И*

лютная температура газа, **R** = 8,31 Дж/(мольК) — универ-  
сальная газовая постоянная, **у** — показатель адп.'б'тты  
газа. Воздух в первом приближении можно считать ыух-

/4 **2**

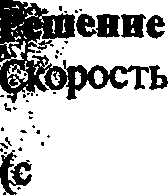
атомным газом, поэтому /./ - 0,029 кг/мд **у-** **.где** ■ —

/

число степеней свободы, причем для двухатомных ддов  
/ = 5, тогда у = **1,4.** Подставляя числовые данные. :га-  
вим таблицу:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| т, к | 253 | 273 |  |
| **С.** Ы' С | 321 | 333 |  |

1. Во сколько раз скорость с, распространения зву лл а воз-  
   духе летом (/ = 27°С) больше скорости **сг** распространен!... ДУ'  
   ка зимой (/ = -33° С)?



**распространения акустических колебаний в газах**

\_ (

Г,

М. задачу 13.7) с =

**;Л7 *с, IT,***

**— , откуда следует — - 1—**

*М ' с:*

**Подставляя числовые данные,** получим — **= 1.12.**

С,

**13.9. Зная, что средняя квадратичная скорость г.олскул дзух-**

**«ррмного газа в условиях опыта v = 461 м/с, найти скорость с**

**распространения звука в газе.**

•уд'--

**Скорость распространения звука в газе (см. задачу 13.7)**

&1Ш

**(1), а средняя квадратичная скорость молекул**

I.

/—■ I j1

**Ш& Vv**2 **= J — (2). Разделив (1) на (2), получаем**

V И

ь

iiL= (Е

W

**откуда скорость распространения звука в газе**



**§s=Vv2^|-j — (3). По условию газ двухатомный, следова-  
тельно (см. задачу 13.7), показатель адиабаты у = 1,4 и,  
подставляя его в формулу (3), получаем с = 315 м/с.**

**13.10. Найти скорость с распространения звука в двух-  
атомном газе, если известно, что при давлении д = 1,0! • 105 Па  
плотность газа р - 1,29 кг/'мб**

**Решение:**

**Скорость распространения звука в газе (см. задачу 13.7)**

**Из уравнения Менделеева — Клапейрона**

***т***

**pV = — RT давление**M

***inRT \_ pRT***

*~pV~~T*

**или**

*p\_*

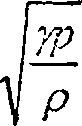
***p***

***RT***

7Г ~(2>-

Подставляя (2) в (**1**), получаем **с**

**(3). По 'Вию**



газ двухатомный, следовательно (см. задачу **13.7;,** .пока-  
затель адиабаты **у** = 1,4 и, подставляя его в форму-у (**3**)(получаем **с-** 331 м/с.

13.11. Зная, что средняя молярная кинетическая энергия по-  
ступательного движения молекул азота **IV** = 3,4 кДж моль,

найти скорость **с** распространения звука в азоте при этих усло-  
виях.

Решение:

Скорость распространения звука в газе (см. задачу 13.7)

\Щт ...

**с** = (**1**), а средняя молярная кинетическая энергия

V **М**

**поступательного движения молекул = — RT**

**уравнения (2) абсолютная температура Т -**

*2WKt*

**М(**

***3R***

**(2). Из**-(3).

**Подставляя (3) в (1), получаем с-**

***\2yRW***

**/ к.**

КV \_

2 *у1Т*

**V 3 Rp V J/I**

**(4). Поскольку азот — газ двухатомный, следовательно  
(см. задачу 13.7), показатель адиабаты у-1.4 и,  
подставляя его в формулу (4), получаем с = 337 м/с.**

13.12. Для определения температуры верхних слоев  
атмосферы нельзя пользоваться термометром, т. к. вслс.лтвне  
малой плотности газа термометр не придет в тепловое  
равновесие с окружающей средой. Для этой цели пускают ракету  
с гранатами, взрываемыми при достижении определенной-  
высоты. Найти температуру **t** на высоте **h** = 20 км от  
314

сти Земли, если известно, что звук от взрыва,  
разведенного на высоте Л, **=21** км, пришел позже на  
с звука от взрыва, произведенного на высоте /?, = 19 км.

fe-

режение:

Скорость распространения звука в газе (см. задачу 13.7)

3- **\yrt** /14 п

1— — **(1).** По условию звук гтоходит расстояние

Гм

Я\*»\*|-\*! за время **At**, поэтому, с другой стороны,  
**%-** Ь~к \_

— (**2**). Приравнивая правые части уравнении

ц.. Д\*

©и (**2**) и возводя обе части равенства в квадрат, получаем

Щт fo-A,)2

**гг>~ = —,**—г~, откуда абсолютная температура воздуха

W Мг

.5,.;. /j j \2

^.высоте **h** равна **Т** = **—-Ц:—■—** (3). Воздух в пер-

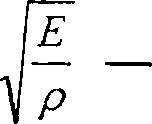
TR (А/)-

|ОМ приближении можно считать азотом, для которого  
ф = 0,028 кг/м**3** и **у-1,4.** Подставляя значения в формулу  
t|j|, получаем **Т** = 21 б К или **t-T-** 273 - -57° С.

ШЗ. Найти показатель преломления /г звуковых воли  
граниде воздух — стекло. Модуль Юнга дня стекла  
**•Щ** = 6,9 • Ю**10** Па, плотность стекла **р =** 2,6 • 10**3** кг/м’, температура  
воздуха **t** = 20° С.

Решение:

Скорость распространения акустических колебаний в твер-  
дой и-жидкой средах (см. задачи **13.3 и 13.4)** **с =**



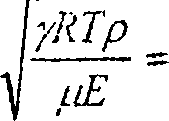
(1),, а в газах (см. задачу **13.7)** **с=\^~** — (2). По оп-

V /'

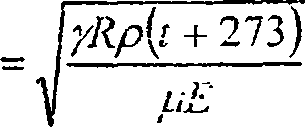
Q

**с2** — скорости звука в воздухе и в стекле, которые могут  
быть найдены соответственно из формул (**2**) и (**1**).  
Подставляя (2) и (1) в (3) и учитывая, что абсолютная

температура **T = t +** **273,** получаем и =



— (4). Воздух в первом приближении



можно считать двухатомным газом, для которого  
// = 0,029 кг/м и **у** = **1,4.** Подставляя значения в формулу

1. , получаем **п** = 0,067 .
2. Найти предельный угол **а** полного внутреннего отра-  
   жения звуковых волн на границе воздух — стекло. Восполь-  
   зоваться необходимыми данными из предыдущей задачи.

Решение:

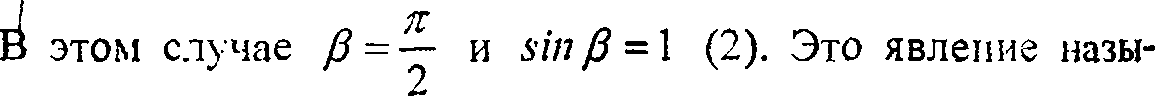
Согласно закону преломления волн показатель преломле-

sina

ния **п-** — (**1**), где **а** — угол падения, /? — угол

sin Р

преломления. При определенном значении угла падения  
**а0** преломленная волна скользит вдоль границы двух сред.

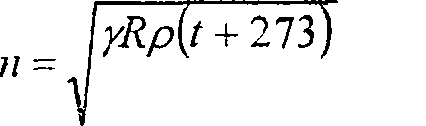


вается полным внутренним отражением, а угол **ап** — пре-  
дельным углом. Из **(1),** с учетом (2), получаем **п - sina0 —**

1. и, с другой стороны (см. задачу **13.13),** показатель пре-

— (4). Приравнивая пра-

**ломления**



f.iE

уравнений (3) и (4), получаем

**части**

**вые**

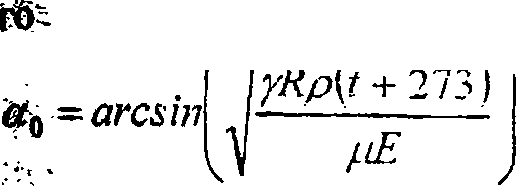
**316**

**yRpit** + **273)**

, откуда предельный угол полно



рЕ



внутреннего  
г

отражения

N

звуковых  
Считая воздух в

приближении двухатомным газом, для  
**Щ р-**0,029кг/м**3** и у = 1,4 , получаем **а** = 3,84° .

**волн**

**первом**

**которо-**

1. Два звука отличаются по уровню громкости на  
   = 1фон. Найти отношение интенсивностей этих звуков.

:7 ' А

Решение:

уровень громкости в фонах **L,** связан с интенсивностью

L /

звука соотношением **Ls** = 1 **Qlg**— — (**1**), где **/0** — порог

W" 7°

^Злышимости звука. Условно принимается, что  
**Щ&-=** 10**'12** Вт/м2. Для первого и второго звука из (1)

'■ / j

соответственно имеем **£,i=I0/g** — и **Ll2 = 10Ig-2-,** тогда

**=i/2** ~Ln **=10** Ig-p-lg-p

**= 10 Is — или**

*(ы±\*

**= ■** Отсюда — = 10v **101** = 1,26 .

/, 10 I.

1. Два звука отличаются по уровню звукового давления

**»Л£,«1**Дб. Найти отношение — амплитуд irx звукового дав-

Р\

фения.

Решение:

Уровень звукового давления в децибелах связан **с** : ,:;ли-  
тудой звукового давления соотношением L = 20/;;• -

(1), где р0 — амплитуда звукового давления при **uv-.com**уровне громкости. Условно принимается, что ; -■ 2х

**х10\_>Па.** Для первого и второго звука из (1; со-

**ответственно** I,=**20-/g—** и I**3**=**20'/g** **—.** тогда

*Р2*

*Ро* ‘ *Ро*

f . у

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| г1- | **Lp]=** 20 | **ьь** | | **~lg** | А |
| **\** | **Р\** |  | **Ро)** |
|  |  |  |  |  | дл„> |
|  | . Отсюда | | **Р**i = | **--li** |  |
| 20 |  |  | **Pi** |  |  |

М, =**20**/g— или

*Р\*

1. Шум на улице с уровнем громкости **Ln** = 70 фон слы-  
   шен в комнате так, как шум с уровнем громкости **Ln** = 40 фон.

Найти отношение — интенсивностей звуков на улице и в ком-  
/, \*

нате.

Решение:

Отношение интенсивностей звуков на улице и в комнате

/, 1 '

(см. задачу **13.15)** будет определяться **как—= 10**(Ух±а)

101 10 ^ = 1000.

или

1. Интенсивность звука увеличилась в 1000 раз. Па с1-°-,ько увеличилась амплитуда звукового давления?

«ь звукового давления (см. задачи **13.15 и 13.16)**увеличился на **ALp = AL, = 10 Ig^2-** = 30 До. С другой сто-

/ т

вне:



роны, Д**L„** = **20** **-lg~,** откуда отношение амплитуд звуко-  
**Pi**

( ^'р)

gpro давления **-^1** = ] (у **20** ^ **=31,6 .**

К' А  
f:jl3.19. Интенсивность звука / = 10мВт/м2. Найти уровень  
IfSojiKOcra L, и амплитуду р звукового давления.

Решение:

уровень громкости в фонах **L,** (см. задачу **13.15)** связан с

*%>. I*

рггенсивностыо звука соотношением **L**, **=10** **lg** —, где

**ш** 7°

|\* = **10**~**12**Вт/м2, тогда **L, =** 100 фон. Поскольку

, ГМ

**Ш-L -20-lg —**, то **lg-B- = -L,** значит, — = **10**^2°А от-  
**Ро Ро** 20 **р0**

!?юда амплитуда звукового давления **р =** Ю **:0** , где  
;|р**0** = 2 • 10**'5** Па, тогда **р-2** Па.

13.20. На сколько увеличился уровень громкости 7; звука..  
ч|если интенсивность звука возросла: а) в 3000 раз; б) в 30000 раз?

Решение:

Уровень громкости (см. задачу **13.15)** увеличивается на  
**Ж,=\0-к^.** а) Если ^. = **3000,** то **AL,** = 34.77 фон.

**А А**

б)Если -^- = 30000, то AL, = 44,77 фон.

П.21. Наин: расстояние / между соседними зубцами :ь\_\Ко  
вон бороздки на граммофонной пластинке для топа ля <ч.л ,0Так--435 Гц): а) в начале записи па расстоянии /- = !2 с**--1** от  
центра; б) в конце записи на расстоянии г = 4см .;л ц-лгТраЧастота вращения пластинки **п** = 78 мин"1.

Решение:

**Имеем**

7 с0 г

**I » где а> - гл п — угловая скорость вран**

**пия**

. *1л и г*

пластинки, отсюда / = . Подставляя чистовые

v

данные, полу чим: а) / = 2.25 мм : д) / = 0.75 мм.

1. Найти расстояние **I** между соседними зубцами туко-  
   вой бороздки на граммофонной пластинке для: а) **~** ь-.)Гщ  
   б) г = 2000Гц. Среднее расстояние от центра плч-лшки  
   /• = 10 см. Частота вращения пластинки **п** = 78 мин”1.

Решение:

Расстояние между соседними зубцами звуковой бороздки

, „ , **, от**

на граммофонной пластинке найдем по формуле / - —,

где **со - 2л п** — угловая скорость вращения плас •: ■ нки,  
**2 л а** г

отсюда / **=** . а) Если и, **=** 100 Гц, то **/, — 8.1** г\* мм-

*v*

б) Если и, = **2000** Гц, то /, = **0,41 мм.**

1. При образовании стоячей волны в трубке **Ку:--га** ввоздушном столбе наблюдалось **п =** 6 пучностей. Какое-'- -,ы-1адлина /, воздушного столба, если стальной стержень зак;'-''-л11'  
   а) посередине; 6) в конце? Длина стержня /, = 1 м. Скор-'1-:-- РлС\*  
   просгранения звука в стали с, = 5250м/с, в воздухе с\ = ? м L‘

решение:

Яри возбуждении колебаний в стальном стержне устано-  
вится стоячая волна с узлами в точках зажима и пуч-  
ностями на свободных концах. В стоячей волне воздуш-  
ного столба расстояние между соседними пучностями  
равно половине длины возбужденной звуковой волны.

Имеем -**7**\*- = —— **(1).** Длина **/2** воздушного столба на ос-

новании сказанного найдется из условия = **/2** — (**2**).

Из (1) и (2) имеем Л = 2^-. Тогда: а) **Я** = **2**/,, /, = 0,392 м;

**2**с,

Щ Я = 4/,, /2= 0,784 м.

1. Какова длина /, стеклянного стержня в трубке Кундта,  
   при закреплении его посередине в воздушном столбе на-  
   блюдалось **/7** = 5 пучностей? Длина воздушного столба  
   |^’= 0,25 м. Модуль Юнга для стекла **Е** = **6,9-1010** Па; плотность  
   Стёкла **р** = **2,5-105** кг/м’. Скорость распространения звука в воз-  
   духе **с** = 340 м/с.

£адцение:

Имеем = п\с2 — \ **(см.** задачу 13.23). По условию

' 2с,

Д| = 2/( — (2). Скорость распространения акустических

[Ё

колебаний в стекле с, = I— — (3). Подставляя (2) и (3) в

\Р

/|ч . **2/7** **-,1с-,**

И), получаем **/2** =—**7**==, откуда длина стеклянного

*2' р*

«Яержня /, = -^\_ I— = **0,772 м.**

**77С, У р**

1. Для каких наибольших частот применим метод к- )Лтаопределения скорости звука, если считать, что наимспьу.  
   лпчимое расстояние между пучностями **/~4мм?** С: сть

распространения звука в воздухе **с** = 340 м/с.

Решение:

с

Имеем / = —=— (см. задачу 13.23), отсюда **максим/, Шя**2 2v

частота и = — & 43 кГц.  
21

1. Два поезда идут навстречу друг другу со еду •. **:я\ш  
   г/,** = 72 км/ч и г/, = 54 км/ч. Первый поезд дает Сип-. ;ок с  
   частотой у **=** 600 Гц. Найти частоту v' колебаний звука, который  
   слышит пассажир второго поезда: а) перед встречей поездов;  
   б) после встречи поездов. Скорость распространения **зв>м;** в воз-  
   духе **с =** 340 м/с.

Решение:

По принципу Доплера частота звука, **воспринимаемая**

наблюдателем, определяется формулой **v'** = **--+и1-** г —(**1**),

**с** - г/,

где **v** — частота звука, посылаемая источником звука,  
и, — скорость движения источника звука, г/-, — скорость  
движения наблюдателя, **с** — скорость распространения  
звука. Скорость н**2** >0, если наблюдатель движется по  
направлению к источнику звука; скорость и, > и если  
источник движется к наблюдателю, а) Перед вс'речей

поездов ту ~ **с + г/-** **у** = **666** Гц. б) После встречи поездов  
**с** - н,

, *C-U-,*

= =- **у** = 542 Г ц.

*С U* j '

■$3.27. Когда поезд проходит мимо неподвижного наблюда-  
**agffip** частота тона гудка паровоза меняется скачком. Какой  
apliteHT от истинной частоты тона составляет скачок частоты,  
бвш поезд движется со скоростью **с = 60** км/ч?

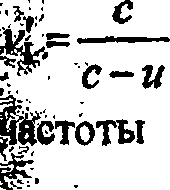
Решение:

Й> принципу Доплера частота звука, воспринимаемая на-  
блюдателем, определяется формулой **v = C + Ul у** — (**1**).

*с-щ*

Поскольку наблюдатель покоится, то гь = **0**, тогда (см.  
задачу 13.26) при движении поезда к наблюдателю и от  
ggro соответственно имеем из формулы (**1**) частоты звука

v **— (2) и** v\ -  
b.v = v\-v\ **—**



**v — (3). Величина скачка**

*с + и*

**(4). Подставляя (2) и (3) в (4),**

**Мучаем Av = cv**

1

*с-и*

1

***с + и***

**9.8%.**

13.28. Наблюдатель па берегу моря слышит звук пароходного  
гудка. Когда наблюдатель и пароход находятся в покое, частота  
[^принимаемого наблюдателем зв> ка **v =** 420 Г и. При двпже-  
Йш парохода воспринимаемая частота г, **=430Ги.** если пароход  
дайближается к наблюдателю, и v. = 415 Гц, если пароход  
удаляется от него. Найти скорост ь **\■** парохода в первом и вто-  
рю\* случаях, если скорость распространения звука в воздухе  
£= 338 м/с.

Решение:

По принципу Доплера частота звука, воспринимаемая на-  
блюдателем, определяется формулой **v' = с + UJLv** — **(]).**

с - щ

Поскольку наблюдатель покоится, то v, = 0 . Если пароход  
приближается к наблюдателю (см. задачу **13.26), то из**

**323**

1-4

**парохода от наблюдателя v\ v,**

***с + и***

***с***

*с-и*

**■■ 8,05 м/с. Аналогично**

формулы (**1**) имеем **v[-**

**да *и- с***

**v ,** откуда скорость парохо-  
при удалении  
следовательно,

***и = с***

4 + i

**= 4,07 м/с.**

1. Ружейная пуля летит со скоростью **и** = 200 м с. Во  
   сколько раз изменится частота тона свиста пули для неподвиж-  
   ного наблюдателя, мимо которого пролетает пуля? Скорость рас-  
   пространения звука в воздухе **с =** 333 м/с.

Решение:

Частоты звука при движении пули к неподвижному  
наблюдателю и от него (см. задачу 13.27) соответственно

, ***с , с v\ с*** + ***а***

равны **vi =** **v** и **v1 =** **v**, тогда — = = 4 .

***с-и с + и v\ с-и***

1. Два поезда идут навстречу друг другу с одинаковой  
   скоростью. Какова должна быть их скорость **и**, чтобы частота  
   свистка одного из них, слышимого на другом, изменялась в 9/8  
   раза? Скорость распространения звука в воздухе **с** = 335 м с.

Решение:

По принципу Доплера частота звука, воспринимаемая на-

***с ~¥ а***

блюдателем, определяется формулой **v'** = -и — (**1**).

с-н,

рость поездов **и** = — = 19,7 м/с.

***V с*** + ***и***

**По условию их=иг=и** **— (2) и — = -**

V' ***с-и***

**— отсюда ско-**

1. Летучая мышь летит перпендикулярно к стене со  
   скоростью 6,0 м/с, издавая ультразвук частотой г = 45 кГц.  
   Какие две частоты звука **vx** и **v2** слышит летучая мышь? Ско-  
   рость распространения звука в воздухе **с** = 340 м/с.

Решение:

До принципу Доплера частота звука, воспринимаемая на-

С 4\* I/

блюдателем, определяется формулой **v'**  **-v** — (**1**).

***с-их***

По условию их = и2 =и — (2) — скорость летучей мыши.  
Летучая мышь будет слышать прямой звук и отраженный  
от стены. **Для прямого** звука **из** формулы (1) имеем

**ух** = ———■ у = у = 45 кГц. Аналогично для отраженного зву-  
**с + и**

***с + и* ^**

ка **у2**  **v** - 46,6 кГц.

***с-и***

1. Какую длину / должна иметь стальная струна ради-  
   усом **г ~** 0,05 см, чтобы при силе натяжения **F** = 0,49 кН она из-  
   давала тон частотой **v** = 320 Гц?

Решение:

Частота основного тона струны определяется формулой  
1 l~F~

v=— J— — (1), где / — длина струны, **F** — сила ее

1. С какой силой **F** надо натянуть стальную сгр\. пн-  
   ной / = **20** см и диаметром **d** = **0,2**мм. чтобы она издавал,. ..,s ля  
   (частота **v =** 435 Гц)?

Решение:

Частота основного тона струны определяется форм-лой  
1

**~ 0) (см’ заДачУ 13.32), где S = —  
2/ и /до 4**

(2).

**натяжения. S = т-1 — (2) — площадь ее попе  
сечения, р — плотность материала среды. Подста**

**в (1), получаем v**

*21*

***F***

**-, откуда длина**

**р.77"**

'■ -10

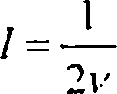
- • !2)

■ ■ :.ы

***F***

**= 0,45 м.**

***ркг***



**Тогда, подставляя (2) в (1), получим и = -**

**4 F**

**т ~ (3).**

**2/у *pnd2***

**Возведя обе части уравнения (3) в квадрат, имеем**

**1 4F**

*F*

*v =*

**4 /‘ *р,та~ ртти2!  
F = р.т\'2а:!2 =* 7,3211.**

**—, откуда сила натяжения струны**

1. Зная предел прочности для стали, найти наибе. ; дую  
   частоту v , на котору ю можно настроить струну длиной / ; м-

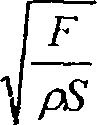
**Решение:**

**Частота основного тона струны определяется фор'**

лой

**\_1\_**

*V~ 21*



**— (1). По определению предел про и**

ЛСТ:‘

— *wax*

s ’

**откуда максимальная сила, с которой можно**

ft

натянуть струну, равна **Fmax = PmaxS** — (2). Подставляя (2)  
В (1), находим наибольшую частоту, на которую можно

настроить струну, **v =** — = 159 Гц.

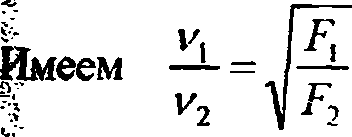
**2**/ \ **р**

1. Струна, натянутая с силой **Fx** = 147 Н, дает с камер-  
   тоном частоту биений **vs =** S Гц. После того как- эту струну натя-  
   нули с силой **F2** =! 56,8 II, сна стала настроена с камертоном в

унисон. Найти частоту к, колебании камертона,  
ч

**Решение:**

= 0,97 ; **у5 = V-,** - и, = **8** Гц. Решая эти  
уравнения совместно, получим is = 252 Гц.



1. Камертон предыдущей  
   камертоном частоту биений г. = 2 Гц.  
   lieporo камертона.

**дает с другим  
частоту колебаний**

**задачи**

**Найти**



Частота биений нб = vs **-vx** — (1). Из предыдущей задачи  
Частота одного камертона н,=252Гц, тогда из формулы  
(1) получим **=v2 -v5 =** 250 Гц. Однако следует обратить  
Внимание, что камертон из предыдущей задачи можс-т быть  
Как вторым, так и первым, т. е. и, = 252 Гц, тогда

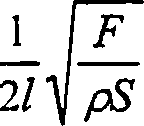
**У2 = v6** + и, = 254 Гц.

1. Найти частоту ч основного тона струны, натянутой с  
   Пилой **F —** **6** кН. Длина струны / = 0.8 м, ее масса **т** - 30 г.

Решение:

Частота основного тона струны определяется формулой

**V--** — (1). Масса струны **т = рУ** — (2), где



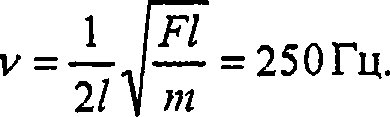
**У = IS** — (3) — ее объем. Из (**2**) и (3) имеем **т** = **p!S**,

*ш*

откуда плотность материала струны **р**-— — (4). Под-

***IS***

ставляя (4) в (1), находим частоту основного тона струны



1. Найти частоту **v** основного тона: а) открытой трубы;

б) закрытой трубы.

Решение:

а) В открытой трубе образуется стоячая звуковая волна с  
пучностями на обоих концах. На длине трубы **I** может

, „ . , **пЛ**

поместиться **п** полуволн, где и = **1**, **2**, 3 ... т. е. / = — и

*С YIC С*

**v** = — = — . Частота основного тона **v** = — . б) В закрытой  
**Л** 2/ **'ll**

трубе стоячая волна имеет на одном конце узел, а на дру-

С *"ilC*

гом — пучность. В этом случае / = — и **v = — =** — . Час-

**4**

***Л 41***

***с***

тота основного тона **v** = —

***41***

1. Закрытая труба издает основной тон до **(частота  
   v**, = 1-30,5 Гц). Трубу открыли. Какую частоту **v2** имеет **основной**тон теперь? Какова длина **I** трубы? Скорость **распространения**звука в воздухе v = 340 м/с.

Решение:

1. закрытой трубе стоячая волна имеет узел на одном конце  
   **и** пучность на другом. В этом случае **1 = -^-** — (1) и

*С ПС*

Ц = —= —- — (**2**). При **п** = **1** из формулы (**2**) частота  
4/

**= —,** откуда длина трубы  
4/

**основного тона**

**I-** = 0,65 м. Когда трубу открыли, в пей возникла

4^1

Стоячая волна с пучностями на обоих концах. Тогда  
\_

*С ПС*

**(3) и и3 = —• = — — (4). Приравнивая правые**

**/О**

*/L*

части уравнений (1) и (3), получаем **^,=-—** — (5). Из (**2**) и

1. следует, что —• = 42-, откуда, с учетом (5), частота  
   у2 Я,

основного тона открытой трубы **у2 =** **2**и, = 261 Гц.