

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

*Методические рекомендации к практическим занятиям для
студентов направления подготовки 12.03.01 «Приборостроение»
очной формы обучения*



Могилев 2021

УДК 681.2
ББК 34.9
Ф50

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «31» августа 2021 г.,
протокол № 1

Составитель ст. преподаватель Е. Н. Прокопенко

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов

Даны рекомендации по выполнению практических заданий по дисциплине
«Физические основы получения информации» студентам направления подгото-
товки 12.03.01 «Приборостроение» очной формы обучения.

Учебно-методическое издание

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать 05.11.2021 . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,63 . Уч.-изд. л. 1,69 . Тираж 16 экз. Заказ № 777.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 7.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2021

Содержание

Введение	4
1 Информация. Информационные каналы и расчет их характеристик	5
2 Представление информации	11
3 Расчет параметров ультразвуковых измерительных трактов	16
4 Расчет параметров электрического и магнитного измерительных трактов.....	19
5 Расчет параметров теплового и радиоволнового измерительных трактов	21
6 Расчет параметров измерительного тракта с ионизирующим излучением	25
Список литературы.....	27

Введение

Информация – понятие, включающее обмен сведениями между людьми, человеком и автоматом, автоматом и автоматом. Получение информации (каких-либо сведений) об окружающем нас мире может происходить в результате общения с окружающими, чтения книг, приема и обработки сигналов, передаваемых по каналам связи и т. д. Основным способом получения количественной информации о том или ином объекте, системе, их состоянии и происходящих в них процессах является способ, связанный с процессом измерения.

Целью изучения дисциплины «Физические основы получения информации» является изучение физических принципов различных видов получения информации в науке и технике; основ взаимодействия физических полей с веществом; физических явлений и эффектов, используемых для получения измерительной и управляющей информации; основных фундаментальных и прикладных положений, лежащих в основе разнообразных приборов, предназначенных для получения информации об окружающем человека мире.

В данном курсе рассматриваются:

- основы взаимодействия физических полей с веществом;
- физические явления и эффекты, используемые для получения измерительной и управляющей информации: механические, электрические, магнитные, оптические, химические, ядерные и др.;
- области применения физических явлений и эффектов в технике измерений;
- закономерности проявления физических эффектов, их техническая реализация, понятия преобразователя информации;
- измерение физических величин различной природы.

Целью практических занятий по дисциплине «Физические основы получения информации» является постановка задач анализа измерительных трактов различной природы, решение задач информационного поиска, анализа и синтеза физических явлений и эффектов для создания средств измерения, диагностики и контроля.

1 Информация. Информационные каналы и расчет их характеристик

Информационным называется процесс, возникающий в результате установления связи между двумя объектами материального мира.

Один из объектов называют генератором сообщений или источником информации, другой – получателем или приемником информации.

Понятие **информации** имеет много определений, от наиболее широкого (информация есть формализованное отражение реального мира) до практического (сведения и данные, являющиеся объектом хранения, передачи, преобразования, восприятия и управления). В настоящее время мировая наука все больше склоняется к точке зрения, что информация, наряду с материей и энергией, принадлежит к фундаментальным философским категориям естествознания и относится к одному из свойств объективного мира, хотя и несколько специфичному. Что касается «данных» (от лат. *datum* – факт), то это совокупность фактов, результатов наблюдений, измерений о каких-либо объектах, явлениях или процессах материального мира, представленных в формализованном виде, количественном или качественном. Это не информация, а только атрибут информации – сырье для получения информации путем соответствующей обработки и интерпретации (истолкования) [1, 2].

Важнейшим вопросом теории информации является установление меры количества и качества информации. Становление категорий информационных мер отвечает трем основным направлениям в подходах теории информации: структурному, статистическому и семантическому.

Структурная теория – рассматривает структурное строение информации и ее измерение на основе простого подсчета информационных элементов (квантов) или с использованием элементарных способов кодирования.

Статистическая теория – оперирует понятием энтропии как меры неопределенности, учитывающей вероятность появления, а следовательно, и информативность тех или иных событий.

Семантическая теория – опирается на принципы установления связи между информативностью и категориями целесообразности, ценности, полезности, существенности и др. Указанные направления имеют свои области преимущественного использования:

- структурная теория – применяется для оценки аппаратных возможностей каналов связи, запоминающих и других устройств вне зависимости от условий их применения;

- статистическая теория – дает оценки применимости информационных систем в конкретных условиях, например, при передаче в системе связи информации с определенными статистическими свойствами и находящейся под воздействием шумов;

- семантическая теория – применима, например, к оценке эффективности опыта, осуществляемого логическим путем.

Одной из закономерностей, проявляющихся при оценке количества информации, является зависимость этого количества от неопределенности ситуации, сообщение о которой передается.

При этом предполагается, что получение информации осуществляется в результате определенного сообщения, т. е. в результате наступления какого-либо события.

До получения сообщения имеется большая или меньшая неопределенность тех или иных сообщений. После поступления сообщения ситуация становится полностью определенной. Из совокупности первоначальных предположений остается одно.

Вторая фундаментальная закономерность, на которой основывается количественное определение информации, является принцип аддитивности. Он представляет собой зависимость количества информации от длины сообщения. С учетом этого принципа вводимая мера информации должна монотонно возрастать с увеличением длительности сообщения.

Конкретным воплощением концепции неопределенности является так называемый алфавит сообщения. Под алфавитом сообщения понимают количество состояний элемента, из которого производится выбор в случае передачи сообщения.

С увеличением алфавита увеличивается неопределенность ситуации.

Таким образом, увеличение алфавита ведет к увеличению неопределенности ситуации и, следовательно, к увеличению количества информации в сообщении [2].

Количество информации, содержащейся в одном элементе сообщения, может быть определено по соотношению

$$H = \log_2 m,$$

где m – размерность алфавита.

Впервые количественная оценка неопределенности была введена американским инженером-связистом Р. Хартли в 1928 г.

Логарифмическая мера наиболее удобна по различным причинам:

- она практически более пригодна. Параметры, имеющие техническое значение, такие как время, ширина полосы частоты и т. д., зависят линейно от логарифма;

- она ближе к нашему интуитивному представлению о подходящей мере. Это обстоятельство тесно связано с первой причиной, т. к. мы интуитивно измеряем количества с помощью линейного сравнения с принятыми эталонами;

- она является более подходящей с математической точки зрения. Многие предельные переходы весьма просты при использовании логарифмов, но требовали бы сложных приемов при использовании числа сообщений.

Выбор основания логарифмов соответствует выбору единицы измерения информации. Единицы измерения, получающиеся при использовании основания два, могут быть названы двоичными единицами или сокращенно битами.

Бит является единицей количества информации и представляет собой информацию, содержащуюся в одном дискретном сообщении источника равновероятных сообщений с объемом алфавита, равным двум. Название bit образовано из двух начальных и последних букв английского выражения binary unit, что значит двоичная единица [2].

Кроме бита, существуют еще следующие единицы измерения информации.

Дит – это энтропия системы с десятью равновероятными состояниями, вычисленными с помощью логарифма с основанием десять:

$$H = \lg m .$$

Если взять физическую систему с e состояниями, то получим натуральную единицу количества информации, называемую нитом:

$$H = \ln m .$$

Взаимосвязь между единицами количества информации

$$1 \text{ бит} = \frac{1}{1,51} \text{ нит} = \frac{1}{3,32} \text{ дит} .$$

Величина H характеризует неопределенность ситуации, сообщение о которой передается и носит название *энтропии*.

Если об одной и той же ситуации передается n сообщений, то количество информации

$$I = n \log_2 m .$$

Эта формула носит название формулы Хартли и позволяет по длине сообщения и размерности алфавита определить количество информации при условии, что сообщения равновероятны.

Если сообщения о некоторой ситуации носят не равновероятный характер, то для определения количества информации используется понятие вероятности.

Материальная среда, которая обеспечивает взаимодействие между источником информации и приемником, называется каналом связи. Передача информации осуществляется через канал связи.

Общими элементами большинства каналов связи систем обработки данных являются (рисунок 1.1):

- источник информации – 1;
- кодирующее устройство – 2;
- передатчик – 3;
- приемник информации – 4;
- устройство хранения и обработки информации – 5;
- устройство отображения информации – 6.

Также в канале связи может действовать источник помех – 7.

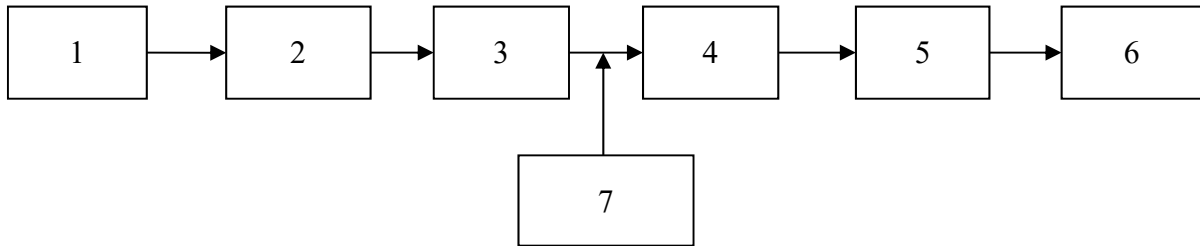


Рисунок 1.1 – Структурная схема устройства обработки информации

В зависимости от среды передачи данных информационные каналы разделяются на следующие:

- проводные (воздушные);
- кабельные (медные и волоконно-оптические);
- радиоканалы наземной и спутниковой связи.

К основным характеристикам информационных каналов относятся:

- амплитудно-частотная характеристика;
- полоса пропускания;
- затухание;
- помехоустойчивость;
- пропускная способность;
- достоверность передачи данных.

В первую очередь разработчика информационного канала интересуют **пропускная способность** и **достоверность** передачи данных, поскольку эти характеристики прямо влияют на производительность и надежность создаваемого канала. Пропускная способность и достоверность – это характеристики как канала передачи, так и способа передачи данных.

Амплитудно-частотная характеристика показывает, как затухает амплитуда синусоиды на выходе линии связи по сравнению с амплитудой на ее входе для всех возможных частот передаваемого сигнала. Вместо амплитуды в этой характеристике часто используют также такой параметр сигнала, как его мощность.

Полоса пропускания (bandwidth) – это непрерывный диапазон частот, для которого отношение амплитуды выходного сигнала ко входному превышает некоторый заранее заданный предел, обычно 0,5.

Затухание (attenuation) определяется как относительное уменьшение амплитуды или мощности сигнала при передаче по линии сигнала определенной частоты.

Пропускная способность (throughput) характеризует максимально возможную скорость передачи данных по линии связи. Пропускная способность измеряется в битах в секунду, а также в производных единицах, таких как килобит в секунду, мегабит в секунду, гигабит в секунду и т. д.

Информационный канал можно характеризовать также тремя соответствующими параметрами: временем использования канала T_k , шириной полосы частот, пропускаемых каналом F_k , и динамическим диапазоном канала D_k , характеризующим его способность передавать различные уровни сигнала.

Величина $V_k = T_k F_k D_k$ называется емкостью канала.

Неискаженная передача сигналов возможна только при условии, что сигнал по своему объему «вмещается» в емкость канала.

Следовательно, общее условие согласования сигнала с каналом передачи информации определяется соотношением $V_C \leq V_k$.

Однако соотношение выражает необходимое, но недостаточное условие согласования сигнала с каналом. Достаточным условием является согласование по всем параметрам: $T_C \leq T_k$; $F_C \leq F_k$; $D_C \leq D_k$.

Для информационного канала пользуются понятиями: скорость ввода информации, скорость передачи информации и пропускная способность канала.

Под скоростью ввода информации (поток информации) $I(X)$ понимают среднее количество информации, вводимое от источника сообщений в информационный канал в единицу времени. Эта характеристика источника сообщений и определяется только статистическими свойствами сообщений.

Скорость передачи информации $I(Z, Y)$ – среднее количество информации, передаваемое по каналу в единицу времени. Она зависит от статистических свойств передаваемого сигнала и от свойств канала.

Пропускная способность C – наибольшая теоретически достижимая для данного канала скорость передачи информации. Это характеристика канала и не зависит от статистики сигнала.

С целью наиболее эффективного использования информационного канала необходимо принимать меры к тому, чтобы скорость передачи информации была как можно ближе к пропускной способности канала. Вместе с тем скорость ввода информации не должна превышать пропускную способность канала, иначе не вся информация будет передана по каналу.

Это основное условие динамического согласования источника сообщений и информационного канала.

Индивидуальное задание

Ознакомиться с основными характеристиками каналов связи, решить следующие задачи.

1 Производится стрельба по двум мишеням: по первой мишени сделано два выстрела (событие А), по второй – три (событие В). Вероятность попадания при одном выстреле равна, соответственно, $1/2$ и $1/3$. В каком соотношении находятся количества информации об этих событиях?

Указание – Вероятность попадания в мишень подчинена биномиальному закону распределения $P(X = m) = C_n^m p^m (1 - p)^{n-m}$.

2 Вероятность появления события при одном испытании равна p , вероятность не появления события $q=1-p$. При каком p количество информации о событии будет наибольшим?

3 Определите максимальное количество информации в сообщении, состоящем из трех пятибуквенных слов, причем общее число букв в алфавите равно 32.

4 Спектр частот сигнала определяется полосой 1 МГц. Время, необходимое для передачи сигнала, составляет 1 мкс. Мощность сигнала превышает мощность помехи в 16 раз. Определите объем передаваемого сигнала, а также, может ли данный сигнал быть передан по каналу со следующими характеристиками:

- время использования – 1 мкс; 1 мкс;
- полоса частот – 1 МГц; 2 МГц;
- максимальное соотношение сигнал – шум – 32; 8.

5 Найдите спектр частот сигнала, обеспечивающий его передачу со скоростью 10^3 бит/с по каналу с максимальным соотношением сигнал – шум, равным 1023.

6 Какое минимальное время передачи сигнала должно быть обеспечено для получения 100 бит информации, если спектр его частот 10000 Гц, а соотношение сигнал – шум составляет 128?

7 Для передачи восьми равновероятных сообщений используется двоичный код. Длительности кодовых символов одинаковы. Найдите скорость передачи сообщений, если длительность каждого символа равна 10^{-6} с.

8 Определите пропускную способность канала передачи данных, если для передачи используется код с основанием m (т. е. m различных символов) Длительность всех символов одинакова и равна τ , а по каналу передается сообщение из M символов, которые имеют одинаковые вероятности.

9 Пропускная способность канала связи 100 Мбит/с. Канал не подвержен воздействию шума (например, оптоволоконная линия). Определите, за какое время по каналу будет передан текст, информационный объем которого составляет 100 Кбайт.

10 Алфавит состоит из букв А, В, С, D. Вероятности появления букв равны соответственно $p_A = p_B = 0,25$; $p_C = 0,34$; $p_D = 0,16$. Определите количество информации на символ сообщения, составленного из такого алфавита.

11 Буквы русского алфавита передаются при помощи четырехчастотных кодов. Длительность кода буквы равна 0,1 с. Определите скорость передачи информации и скорость передачи сигналов.

12 Число символов алфавита $m = 4$. Вероятности появления символов равны соответственно $p_1 = 0,15$; $p_2 = 0,4$; $p_3 = 0,25$; $p_4 = 0,2$. Длительности символов $\tau_1 = 3$ с; $\tau_2 = 2$ с; $\tau_3 = 5$ с; $\tau_4 = 6$ с. Чему равна скорость передачи сообщений, составленных из таких символов?

Контрольные вопросы

- 1 Дайте определение понятий «информация», «информационный канал».
- 2 Какие направления выделяются в теории информации? Поясните каждое направление.
- 3 Как определить количество информации в сообщении?
- 4 В каких единицах измеряется информация?
- 5 Что такое энтропия?
- 6 Из каких элементов состоит канал связи?
- 7 Какими величинами можно охарактеризовать канал связи?
- 8 Назовите основное условие согласования канала связи и сигнала.
- 9 Что такое пропускная способность канала связи?

2 Представление информации

Информация – сведения об окружающем нас мире, событиях, явлениях, воспринимаемые, хранимые и передающиеся человеком.

В обыденной жизни под информацией понимают сведения о предметах, явлениях, фактах, действиях, процессах, передаваемые людьми устным, письменным или другим образом. Сведения о внешнем мире человек воспринимает с помощью органов чувств (зрения, слуха, вкуса, обоняния, осязания). Таким образом, информация – это знания, сведения, которые человек получает из окружающего мира с помощью органов чувств.

Формы (виды) представления информации [2]:

- 1) по способу восприятия: визуальная, аудиальная, тактильная, обонятельная;
- 2) по форме представления: звуковая, текстовая, числовая, графическая, сигнальная;
- 3) по назначению: массовая, специализированная, личная.

Свойства информации: полнота; актуальность; понятность; достоверность; полезность.

Понятность. Этим свойством обладает только та информация, которая выражена в форме, понятной тем, кому она предназначена, в противном случае информация становится бесполезной.

Полезность. Это комплексный показатель качества информации. Зависит от того, какие задачи можно решить, используя эту информацию. Однако ценность информации – это понятие субъективное, т. к. информация, полезная для одного человека, может быть совершенно бесполезной для другого.

Достоверность. Информация достоверна, если она содержит сведения, отражающие истинное положение дел. Часто из-за искажений информации это свойство утрачивается. Кроме того, достоверная информация со временем может стать недостоверной, т. к. она обладает свойством устаревать, т. е. перестает отражать истинное положение дел.

Актуальность. Она определяется степенью сохранения ценности информации в момент ее использования. Актуальную информацию очень важно иметь

при работе в изменяющихся условиях, т. к. в таком случае только вовремя полученная (или обновленная) информация может принести пользу.

Полнота и точность. Полнота информации означает, что она содержит минимальный, но достаточный для принятия правильного решения состав. Нарушение полноты информации сдерживает принятие решений и может повлечь ошибки.

Информацию можно представлять с помощью знаков. Знаковые системы – это наборы знаков определенного типа. Примерами знаковых систем являются разговорные языки, системы счисления, нотная грамота, математические формулы.

Системой счисления называется совокупность приемов обозначения (записи) чисел. Или, в общем случае, это специальный язык, алфавитом которого являются символы, называемые цифрами, а синтаксисом – правила, позволяющие однозначно сформировать запись чисел [2]. Запись числа в некоторой системе счисления называют кодом числа. Кратко число записывается следующим образом:

$$A = a_n a_{n-1} \dots a_2 a_1 a_0 . \quad (2.1)$$

Отдельную позицию в изображении числа принято называть разрядом, а номер позиции – номером разряда. Число разрядов в записи числа называется разрядностью и совпадает с его длиной.

Каждой цифре a_i данного числа A однозначно соответствует ее количественный (числовой) эквивалент – $K(a_i)$. Количественный эквивалент числа A , заданного в определенной системе счисления, является некоторой функцией числовых эквивалентов всех его цифр, т. е.

$$K(A) = f[K(a_n), \dots, K(a_1)]. \quad (2.2)$$

Диапазон представления (D) чисел в данной системе счисления – это интервал числовой оси, заключенный между максимальными и минимальными числами, представленными заданной разрядностью:

$$D = K(A)_{(p)\max} - K(A)_{(p)\min} . \quad (2.3)$$

Существует бесчисленное множество способов записи чисел цифровыми знаками. Однако любая система счисления, предназначенная для практического использования, должна обеспечивать:

- возможность представления любого числа в заданном диапазоне чисел;
- однозначность представления;
- краткость и простоту записи чисел;
- легкость овладения системой, а также простоту и удобство оперирования ею.

В основном системы счисления строятся по следующему принципу:

$$A_{(p)} = a_1 p_1 + a_2 p_2 + \dots + a_n p_n, \quad (2.4)$$

где $A_{(p)}$ – запись числа в системе с базисом p_n ;

a_n – база или последовательность цифр системы счисления с p_n алфавитом;

$\{p_n\}$ – базис системы счисления (совокупность весов отдельных разрядов системы).

Основанием системы счисления называется количество различных символов (цифр), используемых в каждом из разрядов числа для его изображения в данной системе счисления.

Базис системы счисления – это совокупность весов отдельных разрядов системы счисления.

Непозиционными называются такие системы счисления, алфавит которых содержит неограниченное количество символов (цифр), причем количественный эквивалент любой цифры постоянен и зависит только от ее начертания, но не от позиции в числе. Такие системы строятся по принципу аддитивности, т. е. количественный эквивалент числа определяется как сумма рядом стоящих цифр:

$$K(A(Q)) = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_k = \sum_1^k Q_i, \quad (2.5)$$

где Q_i – символы, образующие базис системы

$$Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_k\}. \quad (2.6)$$

К основным недостаткам непозиционных систем счисления можно отнести:

- отсутствие нуля;
- необходимость содержания бесконечного количества символов;
- сложность арифметических действий с числами.

Позиционными называются системы счисления, алфавит которых содержит ограниченное количество символов, причем значение каждой цифры в числе определяется не только ее начертанием, но и находится в строгой зависимости от позиции в числе.

Позиционные системы имеют ряд достоинств по сравнению с непозиционными, основным из которых является удобство выполнения арифметических операций.

В общем виде число A в позиционной системе счисления может быть представлено следующим образом:

$$A = a_n p_{n-1} \dots p_1 + a_{n-1} p_{n-2} \dots p_1 + \dots + a_2 p_1 + a_1, \quad (2.7)$$

где a_n – цифра i -разряда числа, причем $a_n = \overline{0, p_i - 1}$ есть база системы счисления; p_n – основания системы счисления; $p_i = \prod_0^i p_i$ – вес n -го разряда числа.

Позиционные системы счисления строятся не только по принципу аддитивности, но и по принципу мультипликативности, т. е. количественный эквивалент числа определяется как сумма рядом стоящих цифр со своими весами.

Существует два основных метода перевода числа из одной системы счисления в другую: табличный и расчетный.

Табличный метод прямого перевода основан на сопоставлении таблиц соответствия чисел различных систем счисления. Этот метод очень громоздок и требует большого объема памяти для хранения таблиц, но применим для любых систем счисления (не только для позиционных). Суть другого вида табличного метода состоит в том, что имеются таблицы эквивалентов в каждой системе только для цифр, т. е. баз, этих систем и степеней основания (положительных и отрицательных), т. е. базиса систем. Задача перевода сводится к тому, что в выражения полиномов для исходной системы счисления представляют эквиваленты из новой системы для всех цифр и их весов разрядов и производят действия (умножения и сложения) по правилам арифметики по новому основанию p . Полученный при этом результат будет изображать число в новой системе счисления.

Расчетный метод перевода числа из одной системы счисления в другую осуществляется по следующему правилу: чтобы перевести целое число из одной позиционной системы счисления в другую, необходимо исходное число последовательно делить на основание новой системы счисления, записанное в исходной системе, до получения частного, равного нулю. Число в новой системе счисления записывается из остатков от деления, начиная с последнего.

Перевод правильной дроби с основанием p в дробь с основанием q осуществляется в следующем порядке.

1 Основание новой системы счисления выразить цифрами исходной системы счисления и все последующие действия производить в исходной системе счисления.

2 Последовательно умножать данное число и получаемые дробные части произведений на основание новой системы до тех пор, пока дробная часть произведения не станет равной нулю или будет достигнута требуемая точность представления числа.

3 Полученные целые части произведений, являющиеся цифрами числа в новой системе счисления, привести в соответствие с алфавитом новой системы счисления.

4 Составить дробную часть числа в новой системе счисления, начиная с целой части первого произведения.

Десятичная система счисления. Пришла в Европу из Индии, где она появилась не позднее VI в. н. э. В этой системе 10 цифр: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, однако информацию несет не только цифра, но и место, на котором цифра стоит (то есть ее позиция). В десятичной системе счисления особую роль играют

число 10 и его степени: 10, 100, 1000 и т. д. Самая правая цифра числа показывает число единиц, вторая справа – число десятков, следующая – число сотен и т. д.

Числа, которые записаны с помощью одной цифры, называют **однозначными**, записанные с помощью двух – **двузначными**, так же по количеству цифр в числе дают названия и другим числам.

Под двоичной системой счисления понимается такая система, в которой для изображения чисел используются два символа, а веса разрядов меняются по закону $2^{\pm k}$ (где k – произвольное целое число). Классической двоичной системой является система с символами 0, 1. Ее двоичные цифры часто называют битами.

Умножение двоичных чисел полностью определяется двумя правилами:

- 1) умножение любого числа на 0 дает 0;
- 2) умножение любого числа на 1 оставляет его без изменения.

Для сложения имеется только правило, согласно которому прибавление 0 к любому числу не меняет этого числа.

Индивидуальное задание

Ознакомиться с основными теоретическими положениями по переводу чисел из одной системы счисления в другую. Решить следующие задачи.

1 Переведите число 1011101.001 из двоичной системы счисления (СС) в десятичную СС.

2 Переведите число 75 из десятичной системы в двоичную.

3 Переведите число 0.214 из десятичной системы счисления в двоичную СС.

4 Число 1287.923 представьте в десятичной системе счисления в виде полинома.

5 Переведите двоичное число 1101001 в десятичную систему счисления.

6 Переведите двоичное число 100111011 в десятичную систему счисления.

7 Переведите десятичные числа 464, 380,1875 и 115,94 в двоичную систему счисления.

8 Переведите числа 1000001_2 ; $1001,01_2$; $1,01_2$; $100011111,0101_2$ в десятичную систему счисления.

Контрольные вопросы

1 Что такое информация?

2 Какие существуют формы представления информации?

3 Какими свойствами обладает информация?

4 Что такое понятность и достоверность информации?

5 Что такое точность информации?

6 Что такое система счисления?

7 Назовите основные системы счисления.

8 Какие существуют способы перевода чисел из одной системы в другую?

9 Какие системы счисления относятся к непозиционным?

10 Какие системы счисления относятся к позиционным и по какому принципу они строятся?

11 Как перевести дробь из одной системы счисления в другую?

3 Расчет параметров ультразвуковых измерительных трактов

Упругость – свойство твердых тел восстанавливать свою форму и объем, а жидкостей и газов – объем после прекращения действия внешних сил. Среду, обладающую упругостью, называют упругой средой [1].

Упругие колебания – это колебания механических систем, упругой среды или ее части, возникающие под действием механического возмущения. Упругие, или акустические, волны – механические возмущения, распространяющиеся в упругой среде. Частный случай акустических волн – слышимый человеком звук. Отсюда происходит термин «акустика» (от греч. *akustikos* – слуховой) – область физики, исследующая упругие колебания и волны от самых низких до самых высоких частот и в том числе слышимых человеком [2].

Энергия акустической (звуковой) волны – добавочная энергия, обусловленная наличием этой волны. Энергия акустической волны в единице объема среды называется плотностью звуковой энергии. Она состоит из кинетической и потенциальной частей. Для плоской бегущей звуковой волны кинетическая и потенциальная части энергии равны и плотность полной энергии, выраженная через амплитуду давления P ,

$$E = P^2 / (\rho c^2), \quad (3.1)$$

где ρ – плотность среды.

Интенсивность (сила) звука J – средняя по времени энергия, переносимая звуковой волной через единичную площадку, перпендикулярную к направлению распространения волны, за единицу времени. Для периодической звуковой волны усреднение проводится либо за промежуток времени, намного больший по сравнению с периодом, либо за целое число периодов.

Для плоской синусоидальной бегущей волны интенсивность, выраженная через амплитуды давления P и смещения U ,

$$J = P^2 / (2\rho c) = 0,5\rho c\omega^2 U^2. \quad (3.2)$$

Интенсивность используемых волн обычно весьма мала: $< 10^{-5}$ Вт/м² в месте излучения ультразвука.

В ультразвуковом методе получения информации обычно измеряют ослабление амплитуды A' относительно амплитуды возбужденных в объекте колебаний A_0 . Для этого применяют логарифмические единицы – децибелы.

$$(A' / A_0) = 20 \lg(A' / A_0) = 10 \lg(J' / J_0). \quad (3.3)$$

Поскольку $A' < A_0$, децибелы будут отрицательными, однако в ультразвуковой дефектоскопии знак «минус» принято опускать. На рисунке 3.1 приведена шкала перевода относительных единиц в положительные и отрицательные децибелы.



Рисунок 3.1 – Шкалы перевода относительных величин в децибелы. Попарно используют шкалы I-I', II-II', III-III'

Отражение ультразвуковых волн на границе раздела сред зависит от соотношения волнового сопротивления сред.

Волновое сопротивление является характеристикой среды, определяющей условие отражения и преломления волн на границе сред. Волновое сопротивление среды равно произведению плотности среды ρ и скорости C распространения ультразвуковой волны:

$$Z = \rho \cdot C. \quad (3.4)$$

Индивидуальное задание

Ознакомиться с основными параметрами ультразвукового измерительного тракта. Решить следующие задачи.

1 Эхо, вызванное ружейным выстрелом, дошло до стрелка через 2 с после выстрела. На каком расстоянии находится преграда, от которой отразился звук (скорость звука в воздухе 340 м/с)?

2 Волна распространяется по поверхности воды со скоростью 10 м/с. Расстояние между соседними «гребнями» волн составляет 5 м. С какой частотой колеблются частицы?

3 При переходе из одной среды в другую скорость звуковой волны уменьшилась на 30 %. Как изменится при этом длина волны?

4 Сигнальщик услышал звуковой сигнал через 4 с после начала работы сирены. На каком расстоянии от источника находится сигнальный пост, если частота звукового сигнала равна 1 кГц, а длина волны составляет 32 см?

5 Мимо неподвижного наблюдателя проехал автомобиль с включенной сиреной. При приближении автомобиля наблюдатель слышал более высокий тон звука, а при удалении – более низкий. Какой эффект будет наблюдаться, если сирена будет неподвижной, а мимо нее проедет наблюдатель?

6 Определите плотность потока энергии, распространяющейся в воде акустической волны, имеющей цилиндрический фронт, на расстоянии $r_2 = 80$ см от оси излучателя, если известно, что коэффициент затухания ультразвука в воде на частоте излучателя $\delta = 10,6 \text{ м}^{-1}$, а плотность потока энергии на расстоянии $r_1 = 20$ см от оси излучателя составляет $q_1' = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Вт/м}^2$. Определите результирующий коэффициент ослабления интенсивности волны при преодолении расстояния от r_1 до r_2 вследствие проявления эффектов расширения фронта и затухания в среде.

7 Рассчитайте значение первого критического угла при падении продольной акустической волны на плоскую границу раздела вода – твердое тело, если известно, что плотность материала твердого тела $\rho = 4,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, модуль упругости $E = 100 \cdot 10^9 \text{ Па}$, коэффициент Пуассона $\mu = 0,33$.

8 Определите длину волны звука в слышимой области на частоте 1,5 кГц, распространяющуюся в воде со скоростью 1483 м/с и в воздухе со скоростью 343,1 м/с (при температуре 20 °С). Определите, в какой среде длина волны звука больше. Зависит ли скорость распространения звуковой волны от ее частоты?

9 Определите коэффициент проникновения на границе раздела воздух – кожа. Скорость распространения УЗ-волны в воздухе равна 343,1 м/с, в коже – 1610 м/с, плотность воздуха – 1,205 кг/м³, плотность кожи – 1250 кг/м³.

Контрольные вопросы

1 Колебания каких частот относятся к ультразвуковым?

2 Какие волны могут распространяться в жидких и твердых средах?

3 Назовите основные упругие постоянные, от которых зависит скорость распространения ультразвуковых волн в твердых средах.

4 Какой закон связывает углы падения и преломления акустических волн?

5 В чем заключается эффект Доплера?

6 Как определяются коэффициенты поглощения и отражения?

4 Расчет параметров электрического и магнитного измерительных трактов

Электрические методы получения информации основаны на физических эффектах, результатом которых является преобразование в электрический сигнал характеристик электрических полей или электрических характеристик материалов и изделий. Обычно при данном виде измерительных преобразований объект измерения или его часть помещается в постоянное или переменное электрическое поле, создаваемое между электродами, контактирующими с электропроводящим объектом измерения, либо между обкладками электрического [1–6].

Среди электрических методов выделяют:

- емкостные методы;
- электропотенциальные методы;
- тензорезистивные методы;
- методы, основанные на использовании пьезоэффекта и пироэффекта.

Магнитные методы получения информации основаны на физических эффектах, результатом которых является преобразование в электрический сигнал характеристик магнитных полей или магнитных характеристик материалов и изделий. Обычно при данном виде получения информации объект измерения или его часть помещается в постоянное или переменное магнитное поле, создаваемое за счет протекания электрического тока по проводнику, обмотке или непосредственно по объекту, а также постоянными магнитами.

Среди магнитных методов получения информации выделяют:

- индукционные методы;
- магнитомодуляционные методы;
- гальваномагнитные методы.

Индивидуальное задание

Ознакомиться с основными методами получения информации с помощью электрических и магнитных методов. Решить следующие задачи.

1 Определите разность потенциалов между точками 1 и 2 в однородном электрическом поле напряженностью $E = 1 \text{ В/м}$ при расстоянии между точками $l = 5 \text{ см}$ и расстоянии между проходящими через эти точки силовыми линиями $a = 3 \text{ см}$ (рисунок 4.1).

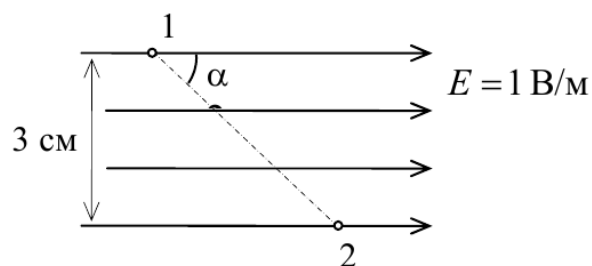


Рисунок 4.1 – Две точки в однородном электрическом поле

2 Определите точку кривой первоначального намагничивания $B(H)$, для которой имеет место равенство значений относительных нормальной μ_r и дифференциальной μ_d магнитных проницаемостей.

3 Определите мгновенное значение ЭДС e в момент времени $t = 0,2$ с, наводимой в контуре прямоугольной формы с размерами 4×6 см, находящемся в однородном магнитном поле, силовые линии которого составляют с плоскостью контура угол $\beta = 30^\circ$, а индукция изменяется во времени по закону $B(t) = B_m - e^t = 0,1 - e^t$.

4 Для электроемкостного измерительного преобразователя, имеющего цилиндрические обкладки с внутренним диаметром $D = 30$ мм и длиной $l = 60$ мм, постройте график зависимости емкости C от диаметра d металлического прутка.

5 Для индукционного измерительного преобразователя с числом витков $w = 1500$ и площадью среднего витка $S = 600$ мм² определите зависимость от времени $e(t)$ ЭДС, возникающей при равномерном повороте преобразователя за время $T = 0,1$ с в однородном постоянном магнитном поле с напряженностью 500 А/м из положения, при котором угол α между нормалью и силовыми линиями поля (рисунок 4.2) $\alpha_1 = -45^\circ$, в положение, при котором угол $\alpha_2 = 45^\circ$. Определите значение ЭДС в момент времени $t = 0,05$ с.

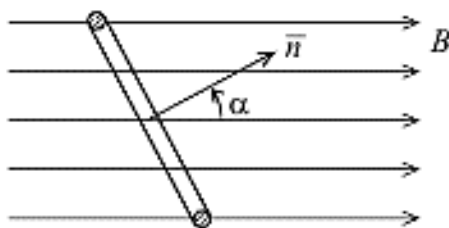


Рисунок 4.2 – Индукционный измерительный преобразователь в магнитном поле

Контрольные вопросы

1 Какие физические закономерности положены в основу электрических методов получения информации?

2 Какие физические закономерности положены в основу магнитных методов получения информации?

3 Какие первичные преобразователи используются при получении информации электрическими методами?

4 Какие первичные преобразователи используются при получении информации магнитными методами?

5 Что такое пьезоэффект?

6 Для измерения каких величин используются магнитные первичные преобразователи?

5 Расчет параметров теплового и радиоволнового измерительных трактов

Электромагнитная волна представляет собой совокупность быстропеременных электрического E и магнитного H полей, распространяющихся в определенном направлении z . В свободном пространстве электромагнитная волна поперечна, т. е. векторы \vec{E} и \vec{H} перпендикулярны направлению распространения волны z (продольная волна отсутствует) [1, 2, 5].

Модули векторов \vec{E} и \vec{H} софазны, т. е. они одновременно в одних и тех же точках пространства достигают максимального или минимального значения. Указанные свойства электромагнитных волн вытекают из анализа описывающих взаимосвязь электрического и магнитного полей уравнений Максвелла в дифференциальной форме. Процесс распространения электромагнитных волн обеспечивается тем, что изменяющееся электрическое поле порождает вихревое магнитное поле, которое, в свою очередь, порождает вихревое электрическое поле:

$$\operatorname{rot}\vec{H} = \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}; \operatorname{rot}\vec{E} = -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}. \quad (5.1)$$

Данный процесс можно инициировать при условии наличия излучателя электрического либо магнитного полей, обеспечивающего возбуждение соответствующего поля в области пространства, протяженность которого соизмерима с длиной волны.

Плотность потока энергии электромагнитной волны q' – энергия, переносимая волной в единицу времени через единицу поверхности малой площадки dS , имеет размерность ватт на метр квадратный и описывается уравнением

$$q' = EH \cos \varphi \cos \alpha, \quad (5.2)$$

где E, H – амплитудные значения напряженности электрического и магнитного полей;

φ – разность фаз колебаний векторов \vec{E} и \vec{H} ;

α – угол между направлением распространения волны z и нормалью к площадке.

Поток энергии электромагнитной волны q – энергия, переносимая волной в единицу времени через площадь S . Размерность – ватт, определяется интегрированием q' по площади S :

$$q = \iint_S EH \cos \varphi \cos \alpha dS; q' = \frac{dq}{dS}. \quad (5.3)$$

Показатель преломления – отношение скоростей электромагнитной волны в вакууме и в среде:

$$n = \frac{c}{v}. \quad (5.4)$$

Закон распространения монохроматической электромагнитной волны для самого общего случая, когда среда характеризуется отличными от вакуума электрической проводимостью, диэлектрической и магнитной проницаемостями, записывается следующим образом:

$$E(t) = E_{m0} \exp\left(-\frac{\omega\chi}{c}z\right) \sin\left(\omega t - \frac{n}{c}z\right), \quad (5.5)$$

где $E(t)$ – мгновенное значение напряженности электрического поля в точке пространства, отстоящей от начала координат в направлении распространения волны на расстояние z ;

E_{m0} – амплитуда напряженности электрического поля в начале координат;

ω – круговая частота электромагнитного поля;

χ – коэффициент поглощения среды, характеризующий уменьшение амплитуды колебаний вследствие возникновения вихревых токов в электропроводящей среде.

В идеальном диэлектрике, удельная электрическая проводимость материала которого $\sigma \rightarrow 0$ и, следовательно, отсутствует поглощение, имеет следующий вид:

$$E(t) = E_{m0} \sin\left(\omega t - \frac{n}{c}z\right). \quad (5.6)$$

Основным уравнением измерительных преобразований в тепловых полях является уравнение теплового баланса, согласно которому подводимое к объекту количество теплоты $Q_{вн}$ равно сумме количества теплоты Q_p , отдаваемой им в среду, и количества теплоты Q_c , идущей на изменение его температуры:

$$Q_{вн} = Q_p + Q_c. \quad (5.7)$$

Для характеристики теплообмена часто используются величины теплового потока q и удельного теплового потока q' .

Тепловой поток – количество теплоты, переданное через изотермическую (одинаковой температуры) поверхность в единицу времени.

Удельный тепловой поток (плотность теплового потока) – тепловой поток через единицу поверхности.

Единицами измерения теплового и удельного теплового потоков являются соответственно ватт и ватт на метр квадратный. Связь этих величин определяется выражениями

$$q = \iint_S q' dS; q' = \frac{dq}{dS}, \quad (5.8)$$

где S – площадь поверхности, через которую определяется тепловой поток.
Уравнение теплового баланса для тепловых потоков

$$q_{\text{вн}} = q_p + q_c, \quad (5.9)$$

где $q_{\text{вн}}$ – подводимый к объекту (вносимый) тепловой поток;

q_p – полный тепловой поток теплоотдачи (рассеивания);

q_c – тепловой поток изменения внутренней энергии (температуры тела).

Тепловая энергия может передаваться от объекта объекту тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением.

Для измерения температуры применяют приборы – термометры, которые можно разделить на контактные и бесконтактные.

В механических контактных термометрах реализуется термомеханический эффект.

Процесс теплового расширения веществ описывается уравнением

$$L_2 = L_1(1 + \alpha(T_2 - T_1)) \text{ или } \Delta L = L_2 - L_1 = L_1\alpha\Delta T,$$

где L_1, L_2 – размеры нагреваемого тела при температурах T_1 и T_2 ;

α – коэффициент теплового расширения.

Жидкостные стеклянные термометры. Основным элементом жидкостных стеклянных термометров является стеклянный баллон с капилляром, заполненным термометрической жидкостью. Возможность измерения температуры вытекает из различия в коэффициентах объемного расширения стеклянного баллона с капилляром и термометрической жидкостью.

В основном применяются следующие разновидности термоэлектрических датчиков:

- металлические термометры сопротивления (ТС);
- термоэлектрические преобразователи (ТП) – термопары;
- полупроводниковые термометры сопротивления (термисторы);
- полупроводниковые интегральные сенсоры (датчики);
- пьезоэлектрические (кварцевые) преобразователи с частотным выходным сигналом.

Термометры сопротивления. Приборы и преобразователи на основе металлических ТС используют зависимость электрического сопротивления металлов R_T от температуры T .

Индивидуальное задание

Ознакомиться с основными особенностями радиоволновых и тепловых методов получения информации. Решить следующие задачи.

1 Определите степень изменения амплитуды напряженности электрического поля линейно поляризованной электромагнитной волны, распространяющейся в воздушной среде при прохождении через диэлектрическую пластину с относительной диэлектрической проницаемостью материала $\epsilon_r = 3$ и коэффициентом поглощения $\chi \approx 0$, в случае, если плоскость поляризации волны параллельна плоскости падения на границу раздела воздух – диэлектрик, а угол падения $\alpha = 30^\circ$. Определите значения угла Брюстера на границах раздела воздух – диэлектрик и диэлектрик – воздух. Определите значение критического угла на границе раздела диэлектрик – воздух.

2 Определите температуры двух точек поверхности титанового стержня сечением $S = 25 \text{ мм}^2$, отстоящих друг от друга на расстоянии $l = 80 \text{ мм}$, если известно, что температура точки поверхности стержня, находящейся посередине между этими точками, $\theta_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, а тепловой поток теплопроводности $q = 1 \text{ Вт}$. При решении задачи примите, что теплообмен носит установившийся характер и прочие тепловые потоки, кроме потока теплопроводности, отсутствуют, а коэффициент теплопроводности титана на рассматриваемом участке стержня при заданной температуре $\lambda = 21,9 \text{ Вт (м}\cdot\text{К)}$.

3 Определите постоянную времени τ изменения температуры теплового преобразователя, помещенного в исследуемую среду, если известно, что его начальная температура составляла $\theta_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, а температуры в моменты времени $t_1 = 1 \text{ с}$ и $t_2 = 2 \text{ с}$ после начала переходного температурного процесса составляли $\theta_1 = 43,8 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\theta_2 = 65,3 \text{ }^\circ\text{C}$.

4 Оцените нелинейность функции преобразования температуры θ в электрическую проводимость γ полупроводникового резистора в диапазоне изменения температуры от $\theta_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ до $\theta_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$. Характеристики резистора: при $\theta_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ сопротивление $R_0 = 2,5 \text{ К}$; температурный коэффициент $\beta = 3000 \text{ К}$.

Контрольные вопросы

1 Какие волны используются в сверхвысокочастотном (СВЧ, радиоволновом) методе получения информации?

2 В каком диапазоне лежат длины волн, используемые в радиоволновом методе получения информации?

3 Что такое инфракрасное излучение?

4 Как передаётся тепловая энергия в твердых телах при наличии температурных градиентов?

5 Что такое электрические термометры сопротивления?

6 В каком диапазоне изменения температуры могут применяться стандартные платиновые терморезисторы?

7 Для измерения какого диапазона температур применяются стандартные терморезисторы из меди?

8 Какое основное преимущество полупроводниковых терморезисторов?

6 Расчет параметров измерительного тракта с ионизирующим излучением

В зависимости от природы ионизирующего излучения рентгеновский вид получения информации подразделяют на подвиды: рентгеновский, гамма-, бета-, нейтронный. В последнее время находят применение потоки позитронов, по степени поглощения которых определяют участки объекта, обедненные или обогащенные электронами [1].

Наиболее широко используют для получения информации рентгеновское и гамма-излучения. Их можно применять для объектов из самых различных материалов, подбирая благоприятный частотный диапазон и интенсивность излучения.

При методах используется область электромагнитных излучений с длиной волны ν от 10^{-2} до 10^{-8} мкм. С уменьшением длины волны в соответствии формулой Планка ($W = h\nu$) энергия квантов растет и увеличивается проникающая способность излучения.

Закон радиоактивного распада. При радиоактивном распаде среднее число ядер данного радиоактивного изотопа, распадающихся в единицу времени, всегда составляет определенную, характерную для данного изотопа, долю общего числа ядер и определяется постоянной радиоактивного распада λ . Эта закономерность является общей для всех радиоактивных изотопов.

Уменьшение числа радиоактивных ядер N при распаде можно записать в виде уравнения

$$dN = -\lambda N dt, \quad (6.1)$$

т. е. число ядер dN , распавшихся за промежуток времени dt , пропорционально N и dt . Отрицательный знак в уравнении (6.1) указывает на то, что процесс распада ведет к уменьшению числа ядер в единицу времени.

Закон радиоактивного распада имеет вид экспоненциальной зависимости

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (6.2)$$

где N – число радиоактивных ядер к моменту времени t ;

N_0 – число ядер в начальный момент времени $t = 0$;

e – основание натуральных логарифмов, $e = 2,718$;

λ – постоянная распада.

Число распадов в секунду в радиоактивном образце называется его активностью. Единицу измерений активности (в СИ) называли беккерелем в честь ученого, открывшего явление радиоактивности. Один беккерель равен одному распаду в секунду.

Индивидуальное задание

Ознакомиться с основными физическими основами измерительного тракта с ионизирующим излучением. Решить следующие задачи.

1 Насколько должно быть увеличено время экспозиции t_3 при просвечивании объекта радиоактивным источником с периодом полураспада $T = 1$ год для обеспечения одной и той же дозы ионизирующего излучения в моменты времени t_1 и t_2 , отличающиеся на 2 месяца?

2 Определите отличие степени ослабления монохроматического узкого пучка фотонного излучения при его прохождении через однородную пластину толщиной 5 мм и такую же пластину с инородным включением толщиной l мм, если значения линейного коэффициента ослабления для материалов пластины и включения составляют $\mu_1 = 0,8 \text{ см}^{-1}$ и $\mu_2 = 0,2 \text{ см}^{-1}$.

3 Найдите активность радона, образовавшегося из $m_0 = 1,0$ г радия ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ за одни сутки, а также максимальную активность радона. Периоды полураспада радия и радона соответственно $T_1 = 1,6 \cdot 10^3$ лет, $T_1 = 3,8$ сут.

4 Определите начальную активность радиоактивного препарата магния-27 массой 0,2 мкг, а также его активность через время 6 ч.

5 При археологических раскопках были обнаружены сохранившиеся деревянные предметы, активность ${}^{14}_6\text{C}$ которых оказалась равной 10^6 распадов в минуту на 1 г содержащегося в них углерода. В живом дереве происходит в среднем 14,5 распада за минуту на 1 г углерода. Исходя из этих данных, определите время изготовления обнаруженных предметов.

Контрольные вопросы

1 Какой диапазон длин волн используется при рентгеновском методе получения информации?

2 Что такое ионизирующее излучение?

3 На какие подвиды в зависимости от природы ионизирующего излучения подразделяют рентгеновский вид получения информации?

4 Кто в научную терминологию ввел термин «радиоактивность»?

5 Когда были открыты рентгеновские лучи?

6 Что представляет собой α -излучение?

7 Что представляет собой γ -излучение?

8 Назовите основные единицы измерения ионизирующего излучения.

9 Что такое изотоп?

Список литературы

- 1 **Гольдштейн, А. Е.** Физические основы получения информации: учебник / А. Е. Гольдштейн. – Томск: Том. политехн. ун-т, 2010. – 292 с.
- 2 **Аббакумов, К. Е.** Физические основы получения информации: учебник / К. Е. Аббакумов, Е. М. Антонюк, Ю. В. Филатов. – Санкт-Петербург: ЛЭТИ, 2013. – 320 с.
- 3 **Бриндли, К.** Измерительные преобразователи: справочное пособие; пер. с англ. / К. Бриндли. – Москва: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
- 4 **Шишмарёв, В. Ю.** Физические основы получения информации: учебное пособие для вузов / В. Ю. Шишмарёв. – Москва: Академия, 2010. – 448 с.
- 5 Физические основы получения информации: учебник / Г. Г. Раннев [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: КУРС; ИНФРА-М, 2018. – 304 с.
- 6 **Раннев, Г. Г.** Методы и средства измерений: учебник для вузов / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. – 2-е изд., стереотип. – Москва: Академия, 2004. – 336 с.