

## Решения задач итогового экзамена по курсу

### «Новые технологии для поиска новых явлений в физике частиц»

- I. Самый тяжелый заряженный лептон – тау-лептон – имеет массу **1777 МэВ/c<sup>2</sup>** и время жизни **2.9×10<sup>-13</sup> сек**, измеренное для покоящейся частицы. Предполагая, что тау-лептоны, рождённые на Большом адронном коллайдере, имеют энергию **100 ГэВ**, оцените длину пробега тау-лептонов до распада в лабораторной системе.

#### *Решение.*

Для распада ультррелятивистского тау-лептона необходимо учесть лоренцево замедление времени в лабораторной системе отсчёта,  $t = t_0 \times (E/m)$ . Длина пробега в лабораторной системе, таким образом,  $L = ct = c \times t_0 \times (E/m) = 0.5$  см.

**Ответ: 5 мм.**

- II. Эксперименты по поиску распадов протонов пытаются подсчитать количество распадов в образце с известным числом протонов в заданном интервале времени. В детекторе Super KamioKande в Японии используется большой подземный контейнер, заполненный **50 000 тоннами** сверхчистой воды. Предполагая нулевой фон (то есть один наблюдаемый и реконструированный распад является открытием), каково будет типичное время выполнения этого эксперимента, чувствительного к времени жизни протона **5×10<sup>34</sup> лет**?

#### *Решение.*

Молекула воды содержит 10 протонов и 8 нейтронов, таким образом, число протонов  $N_p$  в контейнере можно оценить как  $6 \times 10^{23} \times (10/18) \times 5 \times 10^{10} = 1.67 \times 10^{34}$ . При малых временах наблюдения число распавшихся протонов за время  $t$  равно  $N_p \times (t/\tau)$ , где  $\tau$  – время жизни, откуда  $t = \tau / N_p = 3$  года.

**Ответ: 3 года.**

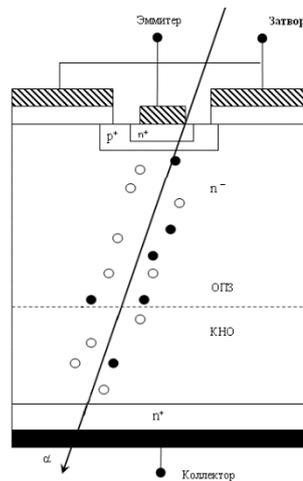
III. Электрон с начальной энергией **5 ГэВ** проходит через кусок материала толщины, равной двум радиационным длинам. Какова средняя энергия прошедшего электрона?

**Решение.**

Энергия в 5 ГэВ для электрона превышает критическую энергию, выше которой для заряженной частицы, проходящей через вещество, доминируют радиационные потери энергии. В этом режиме потери энергии описываются формулой  $dE/dx = -E/X_0$ , где  $X_0$  – радиационная длина. Отсюда  $E = E_0 \times e^{-2} = 677$  МэВ (за рамками задачи остаётся отдельный и довольно непростой вопрос о точности, с которой данную величину можно измерить экспериментально, учитывая её статистический характер).

**Ответ: 677 МэВ.**

IV. Релятивистский электрон проходит через кремниевый n-p-n транзистор (см. рисунок внизу) и генерирует в области пространственного заряда концентрацию  $N = 10^5 \text{ см}^{-3}$  электронно-дырочных пар. Оценить плотность дрейфовой составляющей ионизационного тока, считая толщину области пространственного заряда  $2 \times 10^{-3} \text{ см}$ , а напряжение обратного смещения коллекторного перехода  $U = 70 \text{ В}$ . Подвижность электронов в кремнии равна  $\mu_e = 1500 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ , а подвижность дырок в кремнии  $\mu_h = 500 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ .



**Решение.**

Дрейфовый ток электронов

$$I_{\text{др}\Sigma} = I_{\text{др}e} + I_{\text{др}h} = qN_{\text{онз}e}\mu_e E + qN_{\text{онз}h}\mu_h E$$

Напряженность электрического поля  $E = U/W = 70 / 2 \times 10^{-3} = 3.5 \cdot 10^4$  В/см.

Таким образом, плотность тока равна

$$I_{\text{др}\Sigma} = 1.6 \times 10^{-19} \times 10^5 \times 3.5 \times 10^4 \times (1500 + 500) = 1.1 \times 10^{-6} \text{ А/см}^2$$

**Ответ:  $1.1 \times 10^{-6}$  А/см<sup>2</sup>**

- V. Заряженная частица с импульсом  $p = 10$  ГэВ проходит через трековый детектор размером  $L$  с магнитным полем  $B$ , где ее импульс может быть измерен с относительным разрешением  $\Delta p/p = 0.1\%$ . Каким было бы  $\Delta p/p$  для частицы с  $p = 40$  ГэВ, если мы сохраним поле  $B$ , но удвоим размер  $L$ ?

**Решение.**

Для относительного разрешения имеем  $\Delta p/p \sim p/(B \times L^2)$ . Из этой формулы легко видеть, что относительное разрешение при сформулированном в задаче изменении параметров останется прежним.

**Ответ:  $\Delta p/p = 0.1\%$**

- VI. Рассчитайте емкость данных (в Тб, принимая  $1 \text{ Тб} = 8 \times 10^{12}$  бит) двухсторонней эмульсионной пластины с чувствительными слоями толщиной  $50$  мкм и поверхностью  $12.5 \times 10 \text{ см}^2$  для типов эмульсий

OPERA, NIT и U-NIT, предполагая, что 1 кристалл AgBr хранит 1 бит информации. Смотрите таблицу ниже для параметров эмульсии.

	OPERA	NIT	U-NIT
AgBr диаметр (нм)	200	44.6	18
Объёмная доля	0.5	0.327	0.348

**Решение.**

Поскольку по предположению 1 кристалл AgBr хранит 1 бит информации, необходимо вычислить полное число кристаллов в эмульсии данного объёма. Это число даётся выражением  $N = \alpha \times (2 \times H \times W \times D) / ((4/3) \times \pi \times (d/2)^3)$ , где  $H=50$  мкм,  $W=12.5$  см и  $D=10$  см – размеры эмульсионного объёма,  $\alpha$  – объёмная доля,  $d$  – диаметр кристалла. Разделив это число на  $8 \times 10^{12}$  для перевода в терабайты, получим

**Ответ:**

	OPERA	NIT	U-NIT
Data capacity (Tb)	18.6	1099.9	17806.7

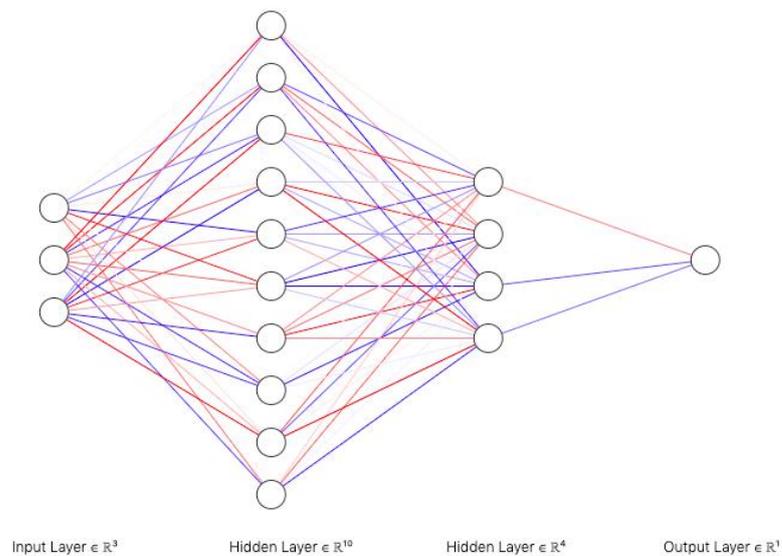
VII. Для обучения нейронной сети необходимо выполнить следующие действия:

- 1) Итерируйте, пока не найдете лучший вес
- 2) Вычислите ошибку между фактическим значением и прогнозируемым значением в обучающей выборке.
- 3) Инициализировать случайные веса и смещения
- 4) Обратный путь к каждому нейрону, способствующему ошибке, и изменение его веса для уменьшения ошибки.
- 5) Распространение входного значения на выходной слой

В каком порядке нужно производить эти действия для обучения нейронной сети?

**Ответ: 3,5,2,4,1**

VIII. Рассмотрите нижеприведённую модель нейронной сети, предназначенной для задач бинарной классификации. Каждый линейный слой содержит элемент смещения.



Сколько настраиваемых параметров имеет данная модель?

**Решение.**

```
[1] from torch import nn
import torch
import functools
```

```
[2] model = nn.Sequential()
model.add_module('l1', nn.Linear(3, 10, bias=True))
model.add_module('l2', nn.Linear(10, 4, bias=True))
model.add_module('l3', nn.Linear(4, 1, bias=True))
```

```
[3] print("Weight shapes:", [w.shape for w in model.parameters()])
```

```
Weight shapes: [torch.Size([10, 3]), torch.Size([10]), torch.Size([4, 10]), torch.Size([4]), torch.Size([1, 4]), torch.Size([1])]
```

```
[4] print("Total number of coefficients: ", functools.reduce(lambda a, b: a + b, [w.numel() for w in model.parameters()]))
```

```
Total number of coefficients: 89
```

**Ответ: 89**