

РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ ИМЕНИ  
ПАТРИСА ЛУМУМБЫ  
ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ

**Базовая кафедра нанотехнологии и микросистемная техника**

**Методические рекомендации по подготовке к заключительному этапу  
открытой универсиаде федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования «Российский университет  
дружбы народов имени Патриса Лумумбы» «RUDN-ОН»**

**в 2025/26 уч. г.**

**Предметное направление  
«Нанотехнологии и микросистемная техника»**

---

название предметного направления

**Москва, 2025**

## **Информация о предметном направлении**

Предметное направление «Нанотехнологии и микросистемная техника» включает в себя области разработки материалов, проектирования, диагностики и испытаний устройств фотоники, наноэлектроники, оптоэлектроники и микросистемной техники, разработки технологических процессов изготовления изделий нано- и оптоэлектроники.

## **Информация о заключительном этапе**

Заключительный этап универсиады проходит очно.

Задание заключительного этапа включает экзаменационный билет с тремя задачами, соответствующими предметному направлению «Нанотехнологии и микросистемная техника».

Участники, допущенные к заключительному этапу, последовательно вытягивают по одному билету и занимают свободные места в аудитории.

Для выполнения задания участнику предоставляются чистые листы бумаги формата А4, авторучка, калькулятор и справочные материалы в виде таблиц.

Общая продолжительность испытания составляет 60 минут.

Максимальное количество баллов за верные ответы и правильное решение по всем трем задачам – 100:

- первая верно решенная задача оценивается в 25 баллов;
- вторая верно решенная задача оценивается в 35 баллов;
- третья верно решенная задача оценивается в 40 баллов.

Критериями оценивания являются: правильное оформление задачи (что дано, что требуется найти, перечень используемых дополнительных констант для решения), наличие формул для расчета, символьное обозначение всех используемых величин, сокращение/преобразование единиц измерений. Решение должно быть логически понятным, а ответ верным.

Нарушение данных рекомендаций может привести к снижению итогового балла даже при наличии верного ответа.

Участник может набрать 100 баллов по итогам заключительного этапа (финал).

## **Список рекомендуемой литературы для подготовки**

1. Борейшо А. С., Ивакин С. В. Лазеры: устройство и действие: Учебное пособие, СПб.: Издательство «Лань», 2023, 304 с. (Учебники для вузов. Специальная литература)

2. Киселев Г. Л. Квантовая и оптическая электроника: Учебное пособие, изд. 3-е, СПб.: Издательство «Лань», 2021, 313 с. (Учебники для вузов. Специальная литература)
3. Борейшо А.С., Борейшо В.А., Евдокимов И.М., Ивакин С.В. Лазеры: применения и приложения: Учебное пособие, СПб.: Издательство «Лань», 2022, 520 с. (Учебники для вузов. Специальная литература)
4. Борейшо А.С., Страхов С.Ю. Системное проектирование лазерной и оптоэлектронной техники: учебное пособие // Вологда: Инфра–Инженерия, 2024. 204 с. (Учебники для вузов. Специальная литература)
5. Малюков С. П., Саенко А. В., Клунникова Ю. В, Палий А. В. Лазеры в микро- и наноэлектронике: Учебное пособие, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Южный федеральный университет, Инженерно-технологическая академия, Ростов-на-Дону; Таганрог: Южный федеральный университет, 2019, 113 с.
6. Воротынцев В.М., Скупов В.Д. Базовые технологии микро- и наноэлектроники: Учебное пособие, Москва: Издательство Проспект, 2023, 519 с.
7. Гуртов В.А., Беляев М.А., Бакшаева А.Г. Микромеханические системы: Учебное пособие, Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2016, 171 с.

## Демоверсия билетов заключительного этапа

### Билет №1

**Задача 1:** Свет с длиной волны 250 нм падает на поверхность металла, в следствии чего возникают фотоэлектроны с максимальной скоростью равной  $5,18 \cdot 10^5$  м/с. Определить работу выхода  $A_{\text{вых}}$  фотоэлектронов для данного металла. Ответ дать в эВ. Необходимые постоянные: постоянная Планка в электронвольтах  $h = 4,136 \cdot 10^{-15}$  эВ·с, скорость света  $C = 3 \cdot 10^8$  м/с, масса электрона  $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31}$  кг, элементарный заряд  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл.

**Задача 2:** Рассчитайте положение уровня Ферми  $E_f$  в запрещенной зоне кремния Si при температуре  $T = 300$ К. Собственная концентрация  $n_i = 1,5 \cdot 10^{10}$  см $^{-3}$ , концентрация доноров  $n = 2 \cdot 10^{16}$  см $^{-3}$ , постоянная Больцмана  $k = 8,6 \cdot 10^{-5}$  эВ/К,  $E_i = E_g/2$ , ширина запрещенной зоны  $E_g = 1,12$  эВ

**Задача 3:** Плотность пиковой мощности полупроводникового лазера составляет 3000 Вт/см $^2$ . Излучающая площадка имеет размер 10x60 мм $^2$ . Рассчитайте энергопотребление лазера, если частота следования импульсов 100 Гц, а КПД преобразования электрической энергии в излучение достигает 45%.

### Билет №2

**Задача 1:** Термопара, состоящая из проводников  $A$  и  $B$ , образует контур с электросопротивлением 10 Ом. Коэффициенты термоЭДС проводников  $A$  и  $B$  равны  $\alpha_A = 40$  мкВ/°С и  $\alpha_B = 20$  мкВ/°С. Определить электрический ток в контуре, если температура одного спая термопары равна 100°С, а другого – 20°С.

**Задача 2:** Рассчитайте положение уровня Ферми  $E_f$  в запрещенной зоне германия Ge при температуре  $T = 300$ К. Собственная концентрация  $n_i = 2,4 \cdot 10^{13}$  см $^{-3}$ , концентрация дырок  $p = 8 \cdot 10^{16}$  см $^{-3}$ , постоянная Больцмана  $k = 8,6 \cdot 10^{-5}$  эВ/К,  $E_i = E_g/2$ , ширина запрещенной зоны  $E_g = 0,72$  эВ

**Задача 3:** Определить величину смещения интерференционных полос в интерферометре, использованном Майкельсоном и Морли для измерения скорости вращения Земли.

## Раздаточные материалы для использования во время прохождения финального этапа

Таблица. 1. Основные физические константы и фундаментальные физические постоянные

Постоянная величина	Обозначение или формула	Числовое значение
Скорость света в вакууме	$c$	$2,99792458 \cdot 10^8$ м/с
Постоянная Планка	$h$ $\hbar = h/2\pi$	$6,62606876(52) \cdot 10^{-34}$ Дж·с $1,054571596(82) \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Больцмана	$k$	$1,3806503(24) \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Постоянная Авогадро	$N_A$	$6,02214199(47) \cdot 10^{23}$ моль <sup>-1</sup>
Атомная единица массы	1 а.е.м	$1,66053873(13) \cdot 10^{-27}$ кг
Газовая постоянная	$R = kN_A$	$8,314472(15)$ Дж/(моль·К)
Объём моля идеального газа при <u>нормальных условиях</u> ( $T_0 = 273,15$ К, $P_0 = 101325$ Па)	$V_0 = RT_0 / P_0$	$22,413996(39) \cdot 10^{-3}$ м <sup>3</sup> /моль
Число Лошмидта	$N_L = N_A / V_0$	$2,68677(5) \cdot 10^{19}$ см <sup>-3</sup>
Гравитационная постоянная	$G$	$6,673(10) \cdot 10^{-11}$ Н · м <sup>2</sup> /кг <sup>2</sup>
Постоянная Фарадея	$F = N_A e$	$9,6485341(39) \cdot 10^4$ Кл/моль
Постоянная Стефана–Больцмана	$\sigma = \pi^2 k^4 / 60 \hbar^3 c^2$	$5,670400(40) \cdot 10^{-8}$ Вт/(м <sup>2</sup> · К <sup>4</sup> )
Постоянная Ридберга	$R_\infty = \mu_0^2 m_e c^3 e^4 / 8 \hbar^3$	$1,0973731568549(83) \cdot 10^7$ м <sup>-1</sup>
Постоянная тонкой структуры	$\alpha = \mu_0 c e^2 / 2 \hbar$ $\alpha^{-1}$	$7,297352533(27) \cdot 10^{-3}$ $137,03599976(50)$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$	$1,2566370614... \cdot 10^{-6}$ Гн/м

Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 1/(\mu_0 c^2)$	$8,854187817 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Радиус первой боровской орбиты для атома водорода	$a_0 = a/4\pi R_\infty$	$0,5291772083(19) \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Радиус электрона классический	$r_e = \mu_0 e^2 / 4\pi m_e$	$2,817940285(31) \cdot 10^{-15} \text{ м}$
Элементарный заряд (заряд электрона)	$e$	$1,602176462(63) \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ $4,8032042 \cdot 10^{-10} \text{ ед. СГСЭ}$
Удельный заряд электрона	$e/m_e$	$1,758820174(71) \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$
Масса электрона	$m_e$	$0,910938188(72) \cdot 10^{-30} \text{ кг}$
Масса протона	$m_p$	$1,67262158(13) \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса нейтрона	$m_n$	$1,67492716(13) \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Магнетон Бора	$\mu_B = e\hbar/(2m_e)$	$9,27400899(37) \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
Ядерный магнетон	$\mu_\text{я} = e\hbar/(2m_p)$	$5,05078317(20) \cdot 10^{-27} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
Магнитный момент протона	$\mu_p$	$1,410606633(58) \cdot 10^{-26} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
Магнитный момент электрона	$\mu_e$	$9,28476362(37) \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
Энергия покоя электрона	$m_e c^2$	$0,510998902(21) \text{ МэВ}$
Энергия покоя протона	$m_p c^2$	$938,271998(38) \text{ МэВ}$
Энергия покоя нейтрона	$m_n c^2$	$939,565330(38) \text{ МэВ}$

Таблица. 2. Длины волн распространенных лазеров

Активная среда		Спектральная область	Длина волны, нм
Фтор (Fluorine)	$F_2$	эксимерн. УФ	157
Фторид аргона (Argon Fluoride)	ArF	эксимерн. УФ	193
Хлорид криптона (Krypton Chloride)	KrCl	эксимерн. УФ	222
Фторид криптона (Krypton Fluoride)	KrF	эксимерн. УФ	248
4-я гармоника Nd:YAG (Frequency Quadrupled Nd:YAG)		УФ	266
Хлорид ксенона (Xenon Chloride)	XeCl	эксимерн. УФ	308
Фторид ксенона (Xenon Fluoride)	XeF	эксимерн. УФ	351
Гелий-кадмий (Helium-Cadmium)	He-Cd	УФ	325
Азот (Nitrogen)	$N_2$	УФ	337
3-я гармоника Nd:YAG (Frequency Tripled Nd:YAG)		ближн. УФ	355
Ионизир. пары кальция (Calcium Vapor Ion)		ближн. УФ	374
Нитрид галлия (Gallium Nitride)	GaN	фиолетов./ближн. УФ	400
Ионизир. пары стронция (Strontium Vapor Ion)		фиолетов.	431
Гелий-кадмий (Helium-Cadmium)	He-Cd	фиолетов.-синий	442
2-я гармоника Nd:YVO <sub>4</sub> (Frequency Doubled Nd:YVO <sub>4</sub> )		синий	457

2-я гармоника Nd:YAG (Frequency Doubled Nd:YAG)		синий	473
Криптон (Krypton Ion)	Kr <sup>+</sup>	синий	476
Аргон (Argon Ion)	Ar <sup>+</sup>	зелен.-синий	488
Ксенон (Xenon)	Xe	зелен.-синий	499
Пары меди (Copper Vapor)	Cu	зелен.	510
Аргон (Argon Ion)	Ar <sup>+</sup>	зелен.	514
Ксенон (Xenon)	Xe	зелен.	526
Криптон (Krypton Ion)	Kr <sup>+</sup>	зелен.	528
2-я гармоника Nd:YVO <sub>4</sub> (Frequency Doubled Nd:YVO <sub>4</sub> )		зелен.	532
2-я гармоника Nd:YAG (Frequency Doubled Nd:YAG)		зелен.	532
Ксенон (Xenon)	Xe	зелен.	541
Гелий-неон (Helium-Neon)	He-Ne	зелен.	543
Гелий-ртуть (Helium-Mercury)	He-Hg	зелен.	567
Криптон (Krypton Ion)	Kr <sup>+</sup>	желт.-зелен.	568
Пары меди (Copper Vapor)	Cu	желт.	578
Гелий-неон (Helium-Neon)	He-Ne	желт.	594
Гелий-неон (Helium-Neon)	He-Ne	оранж.	612
Гелий-ртуть (Helium-Mercury)	He-Hg	красн.-оранж.	615
Пары золота (Gold Vapor)	Au	оранж.-красн.	627

Гелий-неон (Helium-Neon)	He-Ne	оранж.-красн.	633
Криpton (Krypton Ion)	Kr <sup>+</sup>	красн.	647
Александрит (Alexandrite)		красн.-ближн. ИК	655-860
Галлий-алюминий арсенид (Gallium Aluminum Arsenide)	GaAlAs	красн.-ближн. ИК	670-830
Хром:сапфир (Chromium:Sapphire)	Рубин (Ruby), Cr:AlO <sub>3</sub>	красн.	694
Хром:LiCaF (Chromium:LiCaF)	Cr:CaF	ближн. ИК	760
Хром:LiSAF (Chromium:LiSAF)	Cr:LiSrAlF <sub>6</sub>	ближн. ИК	780-920
Арсенид галлия (Gallium Arsenide)		ближн. ИК	840
Хром:LiSGaF (Chromium:LiSGaF)	Cr:LiSGaF	ближн. ИК	840
Титан-сапфир (Titanium:Sapphire)	Ti:Sapphire	красн.-ближн. ИК	675-1100
Неодим:YVO (Neodymium:YVO <sub>4</sub> )	Nd:YVO <sub>4</sub>	ближн. ИК	914
Неодим:YAG (Neodymium:YAG)	Nd:YAG	ближн. ИК	946
Иттербий:КГВ (Ytterbium:KGW)	Yb:KGW	ближн. ИК	1025-1045
Иттербий:YAG (Ytterbium:YAG)	Yb:YAG	ближн. ИК	1031
Неодим:YLF (Neodymium:YLF)	Nd:YLF	ближн. ИК	1053
Неодимовое стекло (Neodymium:Glass)	Nd:Glass	ближн. ИК	1060
Хром, неодим:ГСГГ (Chromium,Neodymium:GSGG)		ближн. ИК	1061
Неодим:LSB (Neodymium:LSB)	Nd:LSB	ближн. ИК	1062

Неодим, хром:LSB (Neodymium,Chromium:LSB)	Nd,Cr:LSB	ближн. ИК	1062
Неодим:YAG (Neodymium:YAG)	Nd:YAG	ближн. ИК	1064
Неодим:YVO (Neodymium:YVO <sub>4</sub> )	Nd:YVO <sub>4</sub>	ближн. ИК	1064
Неодим:КГВ (Neodymium:KGW)	Nd:KGW	ближн. ИК	1067
Гелий-неон (Helium-Neon)	HeNe	ближн. ИК	1152
Неодим:YAG (Neodymium:YAG)	Nd:YAG	ближн. ИК	1330
Эрбьевое стекло (Erbium:Glass)		ближн. ИК	1540
Тулий:YAG (Thulium:YAG)	Tm:YAG	средн. ИК	2008-2018
Хром, тулий:YAG (Chromium,Thulium:YAG)	Cr,Tm:YAG	средн. ИК	2010
Тулий:LuAG (Thulium:LuAG)	Tm:LuAG	средн. ИК	2020-2030
Тулий, гольмий:YLF (Thulium,Holmium:YLF)	Tm,Ho:YLF	средн. ИК	2047-2059
Гольмий:YLF (Holmium:YLF)	Ho:YLF	средн. ИК	2060
Хром, тулий, гольмий:YAG (Chromium,Thulium,Holmium:YAG)	Cr,Tm,Ho:YAG	средн. ИК	2090
Гольмий:YAG (Holmium:YAG)	Ho:YAG	средн. ИК	2100
Фторид водорода (Hydrogen Fluoride)	HF	средн. ИК	2700
Эрбий:YAG (Erbium:YAG)	Er:YAG	средн. ИК	2940
Гелий-неон (Helium-Neon)	He-Ne	средн. ИК	3391
Фторид дейтерия (Deuterium Fluoride)	DF	средн. ИК	3600-4200

Углекислый газ (Carbon Dioxide)	CO2	дальн. ИК	9600
Углекислый газ (Carbon Dioxide)	CO2	дальн. ИК	10600

- УФ - ультрафиолетовая [область спектра](#), ИК - инфракрасная область спектра.
- Длины волн приведены округленно.
- KGW = калий-гадолиниевый вольфрамат, KGd(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.
- YAG = алюмо-иттриевый гранат.
- YLF = фторид иттрия-лития.

Таблица 3. Некоторые константы к расчёту концентрации электронов

	Ge	Si	GaAs	InSb
$E_g$ , эВ	0,72	1,12	1,43	0,18
$E_a$ , эВ	4,0	4,05	4,07	4,59
$n_i$ , см <sup>-3</sup>	$2,4 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^{16}$
$N_C$ , см <sup>-3</sup>	$1,04 \cdot 10^{19}$	$2,8 \cdot 10^{19}$	$4,7 \cdot 10^{17}$	$4,2 \cdot 10^{16}$
$N_V$ , см <sup>-3</sup>	$6,1 \cdot 10^{18}$	$1,02 \cdot 10^{19}$	$7,0 \cdot 10^{17}$	$7,3 \cdot 10^{18}$
$m_n$	$0,22m$	$0,33m$	$0,072m$	
$m_p$	$0,31m$	$0,56m$	$0,5m$	

$m$  – масса изолированного электрона,  $E_a$  – электронное средство.