

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСПЕРТНОГО МЕТОДА ПРИ СОСТАВЛЕНИИ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ЗАДАНИЙ

С.А. Сафонцев

В основу разработки стандартизованных экзаменационных заданий должен быть положен экспертный метод, который позволяет преобразовать качественное описание требований, предъявляемых к знаниям и умениям абитуриентов, в количественные показатели. Автором предложена процедура составления экзаменационных заданий для проведения экзамена по физике, которая гарантирует объективность проводимых конкурсных испытаний.

• экспертный метод • экзаменационные задания • содержательная значимость заданий

Многие высшие учебные заведения критически относятся к результатам единого экзамена и не принимают соответствующие свидетельства на вступительных испытаниях. Преподаватели ежегодно готовят задания, в том числе и для письменных экзаменов, которые не обладают необходимой валидностью и надёжностью. Следствием подобных действий становится необъективность выставляемых оценок и результатов конкурсного отбора студентов.

В основу разработки стандартизованных экзаменационных заданий должны быть положены данные экспертизы, выявляющие весовую значимость отдельных вопросов программы¹. Экспертный метод позволяет преобразовать качественное описание требований, предъявляемых к знаниям и умениям абитуриентов, в количественные показатели. На его основе можно сбалансировать сложность отдельных заданий и вариантов экзаменационной работы.

Поскольку контрольно-измерительные материалы должны максимально отражать содержание соответствующей дисциплины в тех пропорциях, которые определяются общепризнанной значимостью отдельных составляющих программы, данные экспертизы могут служить основой для выработки критериев оценок. Прежде

Практика

1

Черепанов В.С.
Экспертные оценки в педагогических исследованиях. М., 1989.

ПЕД диагностика
ПЕД диагностика**2**

Михайлычев Е.А.
Конструирование ди-
дактических тестов.
Ростов н/Д., 2000.

3

*Михайлычев Е.А.,
Сафонцев С.А.*
Технология конструи-
рования предметного
теста итогового кон-
троля //Школа. 2001.
№ 6. С. 77–81.

всего с помощью весовых коэф-
фициентов, выраженных деся-
тичной дробью с точностью до
сотых долей, оценивается со-
держательная значимость каж-
дого раздела программы отно-
сительно всего курса (Р/К)².
Например, для экзамена по фи-
зике необходимо знать весо-
мость четырёх основных разде-
лов: «Механика», «Молекуляр-
ная физика. Термодинамика»,
«Основы электродинамики» и
«Оптика. Физика XX века». За-
тем эксперты оценивают значи-

мость глав относительно разде-
лов, в которые они входят
(Г/Р), тем относительно соот-
ветствующих глав (Т/Г) и, на-
конец, отдельных вопросов про-
граммы относительно тем
(В/Т) (см. табл. 1)³. В послед-
нем столбце таблицы указаны
комбинированные весовые ко-
эффициенты (КВ), равные про-
изведению показателей значи-
мости более мелких элементов
программы относительно более
крупных структурных единиц,
умноженному на 10 тысяч.

Таблица 1

Результаты экспертной оценки программы по физике

Структурные элементы	Р/К	Г/Р	Т/Г	В/Т	КВ
Р1. Механика	0,30				
Г1. Кинематика		0,18			
Т1. Равномерное прямолинейное движение			0,25		
В1. Относительность механического движения				0,11	15
В2. Система отсчёта				0,10	14
В3. Материальная точка				0,08	11
В4. Траектория				0,07	10
В5. Путь и перемещение				0,10	13
В6. Скорость				0,24	32
В7. Сложение скоростей				0,30	41
Т2. Равноускоренное прямолинейное движение			0,47		
В1. Ускорение				0,26	63
В2. Уравнение равноускоренного прямолинейного движения				0,51	69
В3. Свободное падение тел				0,23	31
Т3. Равномерное движение по окружности			0,28		
В1. Линейная скорость				0,25	38
В2. Угловая скорость				0,28	42
В3. Центробежное ускорение				0,47	71
Г2. Основы динамики	0,28				
Т1. Законы Ньютона		0,40			
В1. Первый закон Ньютона				0,13	44
В2. Инерциальные системы отсчёта				0,12	40

Практика

Структурные элементы	Р/К	Г/Р	Т/Г	В/Т	КВ
В3. Сила				0,05	17
В4. Масса				0,05	17
В5. Второй закон Ньютона				0,32	108
В6. Суперпозиция сил				0,05	17
В7. Третий закон Ньютона				0,28	94
Т2. Элементы статики			0,21		
В1. Момент силы				0,22	39
В2. Правило моментов				0,44	78
В3. Центр масс				0,34	60
Т3. Силы в природе			0,39		
В1. Закон всемирного тяготения				0,25	82
В2. Вес тела				0,08	26
В3. Невесомость				0,07	23
В4. Первая космическая скорость				0,10	33
В5. Силы упругости				0,12	39
В6. Закон Гука				0,12	39
В7. Силы трения				0,13	43
В8. Коэффициент трения				0,13	43
Г3. Законы сохранения в механике		0,23			
Т1. Закон сохранения импульса			0,41		
В1. Импульс				0,10	28
В2. Закон сохранения импульса				0,40	113
В3. Неупругий удар				0,25	71
В4. Реактивное движение				0,25	71
Т2. Закон сохранения энергии			0,59		
В1. Механическая работа				0,17	69
В2. Мощность				0,12	49
В3. Кинетическая и потенциальная энергии				0,25	10
В4. Закон сохранения энергии в механике				0,32	13
В5. Простые механизмы				0,04	16
В6. Коэффициент полезного действия				0,10	41
Г4. Механика жидкостей и газов		0,15			
Т1. Гидростатика			0,43		
В1. Давление				0,12	23
В2. Закон Паскаля				0,12	23
В3. Плотность				0,12	23
В4. Гидростатическое давление				0,24	46
В5. Сообщающиеся сосуды				0,10	19
В6. Атмосферное давление				0,30	58

ПЕД диагностика
ПЕД диагностика

Структурные элементы	Р/К	Г/Р	Т/Г	В/Т	КВ
Т2. Плавание тел			0,34		
В1. Архимедова сила				0,51	78
В2. Условия плавания тел				0,49	75
Т3. Движение жидкостей и газов			0,23		
В1. Уравнение Бернулли				0,56	58
В2. Подъёмная сила				0,44	46
Г5. Механические колебания и волны		0,16			
Т1. Механические колебания			0,59		
В1. Гармонические колебания				0,10	28
В2. Амплитуда, период, частота и фаза колебаний				0,15	43
В3. Математический маятник				0,17	48
В4. Пружинный маятник				0,16	45
В5. Превращение энергии при механических колебаниях				0,19	54
В6. Вынужденные колебания				0,10	28
В7. Резонанс				0,10	28
В8. Автоколебания				0,03	8
Т2. Механические волны			0,41		
В1. Длина волны				0,16	31
В2. Скорость распространения волны				0,17	33
В3. Уравнение гармонической волны				0,33	65
В4. Поперечные и продольные волны				0,17	33
В5. Звук				0,17	33
Р2. Молекулярная физика. Термодинамика	0,21				
Г1. Основы молекулярной физики. Идеальный газ		0,41			
Т1. Молекулы			0,21		
В1. Экспериментальные основания молекулярно-кинетической теории				0,39	71
В2. Молярная масса				0,20	36
В3. Масса молекул				0,18	33
В4. Размеры молекул				0,23	42
Т2. Движение молекул			0,26		
В1. Температура				0,25	56
В2. Абсолютная температурная шкала				0,25	56
В3. Скорость молекул газа				0,25	56
В4. Опыт Штерна				0,25	56
Т3. Идеальный газ			0,53		
В1. Давление идеального газа. Основное уравнение МКТ				0,39	88
В2. Уравнение состояния идеального газа				0,22	49

Практика

Структурные элементы	Р/К	Г/Р	Т/Г	В/Т	КВ
В3. Изотермический процесс				0,13	29
В4. Изохорный процесс				0,13	29
В5. Изобарный процесс				0,13	29
Г2. Основы термодинамики		0,35			
Т1. Первый закон термодинамики			0,62		
В1. Внутренняя энергия				0,17	77
В2. Количество теплоты				0,13	59
В3. Уравнение теплового баланса				0,13	59
В4. Работа в термодинамике				0,17	77
В5. Первый закон термодинамики				0,27	123
В6. Адиабатный процесс				0,13	59
Т2. Второй закон термодинамики			0,38		
В1. Статистическое истолкование второго закона термодинамики				0,32	89
В2. Необратимость теплового процесса				0,24	67
В3. Тепловые двигатели				0,44	123
Г3. Жидкости и твёрдые тела		0,24			
Т1. Испарение и конденсация			0,49		
В1. Насыщенный пар				0,29	72
В2. Точка росы				0,17	42
В3. Влажность воздуха				0,29	72
В4. Кипение				0,25	62
Т2. Поверхностное натяжение			0,23		
В1. Смачивание и несмачивание				0,54	63
В2. Капиллярные явления				0,46	53
Т3. Кристаллические и аморфные тела			0,28		
В1. Анизотропия кристаллов				0,29	41
В2. Плавление и отвердевание				0,49	69
В3. Аморфные тела				0,22	31
Р3. Основы электродинамики	0,29				
Г1. Электростатика		0,22			
Т1. Электростатическое взаимодействие			0,28		
В1. Электризация тел				0,10	18
В2. Электрический заряд				0,11	20
В3. Закон сохранения заряда				0,20	36
В4. Закон Кулона				0,59	105
Т2. Электрическое поле			0,30		
В1. Напряжённость электрического поля				0,26	50

ПЕД диагностика
ПЕД диагностика

Структурные элементы	Р/К	Г/Р	Т/Г	В/Т	КВ
В2. Суперпозиция полей				0,27	52
В3. Потенциал электрического поля				0,10	19
В4. Разность потенциалов				0,37	71
Т3. Проводники и диэлектрики в электрическом поле			0,21		
В1. Проводники в электрическом поле				0,51	68
В2. Диэлектрики в электрическом поле				0,24	32
В3. Диэлектрическая проницаемость				0,25	33
Т4. Конденсаторы			0,21		
В1. Электрическая ёмкость				0,20	27
В2. Ёмкость плоского конденсатора				0,40	54
В3. Энергия электрического поля				0,40	54
Г2. Постоянный электрический ток		0,30			
Т1. Закон Ома для участка цепи			0,27		
В1. Электрический ток				0,12	28
В2. Сила тока				0,12	28
В3. Напряжение				0,22	52
В4. Сопротивление проводников				0,17	40
В5. Последовательное и параллельное соединения				0,17	40
В6. Закон Ома для участка цепи				0,20	47
Т2. Закон Ома для полной цепи			0,30		
В1. Электродвижущая сила				0,22	57
В2. Внутреннее сопротивление источника тока				0,10	26
В3. Закон Ома для полной цепи				0,36	94
В4. Работа тока				0,10	26
В5. Закон Джоуля–Ленца				0,12	31
В6. Мощность тока				0,10	26
Т3. Электрический ток в средах			0,43		
В1. Электрический ток в металлах				0,13	49
В2. Сверхпроводимость				0,05	19
В3. Электрический ток в жидкостях				0,07	26
В4. Закон электролиза				0,10	37
В5. Электрический ток в газах				0,10	37
В6. Плазма				0,06	22
В7. Электрический ток в вакууме				0,07	26
В8. Электронно-лучевая трубка				0,07	26
В9. Собственная и примесная проводимость полупроводников				0,16	60
В10. Полупроводниковый диод, транзистор, интегральная микросхема				0,19	71

Практика

Структурные элементы	Р/К	Г/Р	Т/Г	В/Т	КВ
Г3. Магнитное поле. Электромагнитная индукция		0,23			
Т1. Магнитное поле			0,48		
В1. Взаимодействие постоянных магнитов и проводников с током				0,23	74
В2. Индукция магнитного поля				0,28	90
В3. Сила Ампера				0,11	35
В4. Электродвигатель				0,11	35
В5. Сила Лоренца				0,27	86
Т2. Электромагнитная индукция			0,52		
В1. Магнитный поток				0,15	52
В2. Правило Ленца				0,18	62
В3. Закон электромагнитной индукции				0,26	90
В4. Вихревое электрическое поле				0,05	17
В5. Самоиндукция				0,10	35
В6. Индуктивность				0,09	31
В7. Энергия магнитного поля				0,17	59
Г4. Электромагнитные колебания и волны		0,25			
Т1. Колебательный контур			0,29		
В1. Превращение энергии в колебательном контуре				0,58	122
В2. Собственная частота колебаний в контуре				0,42	88
Т2. Переменный ток			0,35		
В1. Генератор переменного тока				0,35	89
В2. Действующие значения силы тока и напряжения				0,35	89
В3. Трансформатор				0,18	46
В4. Производство и передача электрической энергии				0,12	30
Т3. Электромагнитная волна			0,36		
В1. Идеи теории Максвелла				0,35	91
В2. Скорость и свойства электромагнитной волны				0,32	84
В3. Принципы радиосвязи				0,33	86
Р4. Оптика. Физика XX века	0,20				
Г1. Геометрическая оптика		0,27			
Т1. Отражение света			0,26		
В1. Прямолинейное распространение света				0,24	34
В2. Закон отражения света				0,30	42
В3. Построение изображения в плоском зеркале				0,46	65
Т2. Преломление света			0,30		
В1. Показатель преломления				0,24	39
В2. Закон преломления света				0,30	49

ПЕД диагностика
ПЕД диагностика

Структурные элементы	Р/К	Г/Р	Т/Г	В/Т	КВ
В3. Полное отражение				0,23	37
В4. Ход лучей в призме				0,23	37
Т3. Линзы			0,44		
В1. Фокус линзы				0,09	21
В2. Собирающая и рассеивающая линзы				0,20	48
В3. Построение изображений с помощью линзы				0,28	67
В4. Формула тонкой линзы				0,23	55
В5. Глаз и очки				0,10	24
В6. Фотоаппарат				0,10	24
Г2. Волновая оптика и основы СТО		0,39			
Т1. Волновые свойства света			0,71		
В1. Когерентность				0,09	50
В2. Интерференция света				0,09	50
В3. Принцип Гюйгенса-Френеля				0,10	55
В4. Дифракция света				0,10	55
В5. Дифракционная решётка				0,09	50
В6. Дифракционный спектр				0,09	50
В7. Дисперсия света				0,09	50
В8. Дисперсионный спектр				0,08	44
В9. Поляризация света				0,08	44
В10. Поперечность световых волн				0,08	44
В11. Шкала электромагнитных волн				0,11	61
Т2. Основы специальной теории относительности			0,29		
В1. Принцип относительности Эйнштейна				0,27	61
В2. Инвариантность скорости света				0,17	38
В3. Относительность расстояний				0,14	32
В4. Относительность времени				0,14	32
В5. Связь массы и энергии				0,28	63
Г3. Квантовая физика		0,34			
Т1. Квантовые явления			0,23		
В1. Тепловое излучение				0,10	16
В2. Квант действия				0,21	33
В3. Фотоэффект				0,13	20
В4. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта				0,30	47
В5. Гипотеза де Бройля				0,16	25
В6. Дифракция электронов				0,10	16
Т2. Радиоактивность			0,18		

Практика

Структурные элементы	Р/К	Г/Р	Т/Г	В/Т	КВ
В1. Радиоактивные излучения				0,36	44
В2. Закон радиоактивного распада				0,33	40
В3. Методы наблюдения и регистрации частиц				0,31	38
Т3. Строение атома			0,21		
В1. Опыт Резерфорда				0,13	19
В2. Планетарная модель атома				0,30	43
В2. Боровская модель атома водорода				0,27	39
В4. Спектры				0,20	29
В5. Лазеры				0,10	14
Т4. Атомное ядро			0,38		
В1. Протонно-нейтронная модель ядра				0,07	18
В2. Зарядовое и массовое числа				0,07	18
В3. Изотопы				0,05	13
В4. Законы сохранения в ядерных реакциях				0,18	47
В5. Энергия связи частиц в ядре				0,18	47
В6. Деление ядер				0,11	28
В7. Ядерный реактор				0,05	13
В8. Термоядерная реакция				0,16	42
В9. Элементарные частицы				0,07	18
В10. Фундаментальные взаимодействия				0,06	16

Для экспертизы были привлечены две группы специалистов: 1) высококвалифицированные преподаватели вузов, 2) учителя высшей категории с большим опытом практической работы. Используя содержательную значимость разделов относительно всего курса физики (Р/К), можно связать баллы, начисляемые абитуриентам за выполнение заданий по каждому из разделов программы (N_1, N_2, N_3, N_4) с общей суммой баллов N , оценивающей стопроцентное выполнение экзаменационной работы:

$$N_1 = 0,30 \cdot N; N_2 = 0,21 \cdot N; N_3 = 0,29 \cdot N; N_4 = 0,20 \cdot N.$$

Первое экзаменационное задание должно включать один из наиболее значимых структурных элементов раздела «Механика», например, второй закон Ньютона, комбинированный весовой коэффициент которого (КВ) равен 108 (см. табл. 1).

1. Деревянный брусок массой 2 кг всплывает с ускорением 0,5 м/с². Найдите силу сопротивления воды, если плотность дерева 500 кг/м³.

При решении этой задачи кроме второго закона Ньютона

необходимо использовать суперпозицию сил ($KВ=17$), силу Архимеда ($KВ=78$) и плотность вещества ($KВ=23$). Таким образом, содержательная значимость первой задачи составляет 226 баллов. Если задания по механике этим исчерпываются, то $N_1=226$, а общая сумма баллов $N=N_1/0,30 \approx 753$. Строгого соблюдения установленной суммы баллов добиться трудно, но сохранить необходимые пропорции в экзаменационной работе вполне возможно.

Продолжая составление заданий, необходимо определить количество баллов, которое может быть начислено за решение второй задачи по разделу «Молекулярная физика. Термодинамика»: $N_2=0,21 \cdot 753 \approx 158$. Несмотря на максимальную весовую значимость первого закона термодинамики (123), не стоит подбирать задачу именно на этот материал. Простое применение формулы первого закона термодинамики приведёт к снижению содержательной значимости работы в целом, а любая сложная задача на теплообмен превысит установленный лимит начисляемых баллов. Поэтому следует обратиться к молекулярной физике и подобрать задачу на основные количественные соотношения молекулярно-кинетической теории.

2. Средняя скорость движения молекул газа, находящегося при температуре 18°C , 476 м/с . Какова молярная масса этого газа?

Для решения этой задачи потребуется абсолютная температурная шкала ($KВ=56$), связь скорости молекул газа с этой температурой ($KВ=56$), а также выражение массы отдельной молекулы через молярную массу и постоянную Авогадро ($KВ=33$). Заметьте, что знание формулы средней кинетической энергии поступательного движения молекул и связи универсальной газовой постоянной с постоянными Больцмана и Авогадро не оценивается содержательной значимостью. Формальное знание данных соотношений не отражает понимание абитуриентом изученного материала. Показателем логической обоснованности его действий в большей мере является умение найти среднюю скорость молекул газа по известной температуре. Таким образом, содержательная значимость второго экзаменационного задания составляет 145 баллов.

Раздел «Основы электродинамики» должен быть представлен заданиями с содержательной значимостью $N_3=0,29 \cdot 753 \approx 218$. Учитывая разнообразие электродинамических процессов и сложность моделей, используемых для их

описания, можно составить две задачи, например, одна из которых будет посвящена электростатике, а вторая — электромагнитным колебаниям.

3. Два точечных заряда $7,5 \text{ нКл}$ и $-14,7 \text{ нКл}$ расположены на расстоянии 5 см друг от друга. Найти напряжённость электрического поля в точке, находящейся на расстоянии 3 см от положительного заряда и 4 см от отрицательного заряда.

4. Колебательный контур настроен на частоту $1,5 \cdot 10^7 \text{ Гц}$. Как надо изменить ёмкость конденсатора, чтобы перестроить контур на длину волны 40 м ?

Для решения третьей задачи потребуется воспользоваться напряжённостью электрического поля ($KВ=50$) и суперпозицией полей ($KВ=52$), что приводит к её содержательной значимости в 102 балла. В четвёртой задаче потребуется собственная частота колебаний в контуре ($KВ=88$) и связь скорости распространения волны с частотой колебаний и длиной волны ($KВ=33$). Последний структурный элемент (см. табл. 1) имеет отношение не только к электромагнитным, но и механическим волнам, так как он связан с модельными представлениями, используемыми в электродинамике. Содержательная значимость четвёртой задачи составляет 121 балл. Таким образом, «Основы

электродинамики» представлены экзаменационными заданиями, суммарная весовость которых 223 балла.

Наконец, четвёртый раздел программы по физике должен быть представлен заданием с содержательной значимостью $N_4=0,20 \cdot 753 \approx 151$. Например, можно использовать задачу на построение изображения в линзах.

5. Светящийся предмет расположен на расстоянии $12,5 \text{ м}$ от линзы, а его действительное изображение — на расстоянии 85 см от неё. На каком расстоянии от линзы можно наблюдать изображение предмета, если его придвинуть к линзе на $2,5 \text{ м}$?

Только собирающая линза способна создать действительное изображение ($KВ=48$), которое необходимо построить геометрически ($KВ=67$) и дважды использовать формулу тонкой линзы ($KВ=55$) для получения количественного результата. Содержательная значимость пятого задания составляет 170 баллов, что несколько превышает предоставленный лимит. Если посчитать общую сумму баллов, которую может набрать абитуриент за исчерпывающее выполнение данного варианта экзаменационной работы, то мы получим: $N_s = 226 + 145 + 223 + 170 = 764$ балла. Этот показатель превышает ориентировочную сумму

Практика

баллов $N \approx 753$ на 1,4%. Подобные отклонения вполне допустимы, так как общая сбалансированность экзаменационных заданий в составленном варианте работы не вызывает сомнений.

Проверяя работы испытуемых, очень легко преобразовать набранную сумму баллов N_i в любую интервальную шкалу уровней достижений. Например, если учебное заведение предпочитает начислять абитуриентам за стопроцентное выполнение экзаменационной работы 25 конкурсных баллов ($K=25$), то необходимо поставить им в соответствие максимально возможную содержательную значимость, вычисленную на основе данных экспертизы. В нашем примере эта величина $N_s=764$. Искомое количество конкурсных баллов, набранных конкретным абитуриентом, определяется по формуле:

$$K_i = K \cdot N_i / N_s.$$

Если испытуемый, решая первую задачу, воспользовался вторым законом Ньютона, но перепутал знаки проекций действующих сил, то полученный результат окажется неверным даже при правильном использовании соотношений для силы Архимеда и плотности вещества. При наличии правильных размерностей используемых величин абитуриенту следует начислить $226 - 17 = 209$ баллов. Во второй задаче к не-

верному численному результату может привести ошибка при переводе температуры из шкалы Цельсия в шкалу Кельвина. При правильном выполнении всех остальных необходимых элементов решения абитуриент получает $145 - 56 = 89$ баллов. В третьей задаче испытуемый может правильно использовать формулу напряжённости электрического поля точечного заряда, но не воспользоваться теоремой Пифагора при вычислении результирующей напряжённости поля. В этом случае ему начисляется 50 баллов. Если в четвёртой задаче неверно воспроизвести формулу скорости распространения волны, то это приведёт к ошибке в действиях с наименованиями и к неправильному численному ответу. При этом если формула собственной частоты колебаний в контуре использовалась правильно, то абитуриенту начисляется 88 баллов. В пятой задаче построение изображений в линзе может быть произведено правильно, но допущена ошибка в знаке при записи формулы линзы. Численный результат окажется неверным и испытуемому начисляется $170 - 55 = 115$ баллов. Таким образом, абитуриент набирает 551 балл.

Воспользуемся формулой для перевода содержательной значимости ответов абитуриента в конкурсные баллы по 25-балль-

ной шкале: $K_i = 25 \cdot 551 / 764 \approx 18$.
Учитывая нормативно-критериальный характер экзаменационных заданий, можно утверждать, что при корректном проведении испытания 13÷18 конкурсных баллов соответствуют хорошей оценке по традиционной ранговой шкале.

Предлагаемая процедура составления экзаменационных заданий гарантирует объективность проводимых конкурсных испытаний, так как в её основе лежит экспертный метод, подкреплённый простейшими методами образовательной квалиметрии.

Практика