

Майер Р.В.

ОЦЕНКА ОБЪЕКТИВНОЙ СЛОЖНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ВОПРОСОВ ШКОЛЬНОГО КУРСА ФИЗИКИ

Проблема оценки объективной сложности того или иного элемента учебного материала (ЭУМ) имеет большое практическое значение. Следует понимать, что **объективная** или **историческая сложность** вопроса зависит от трудности осознания тех или иных идей, проведения умозаключений, математических выкладок и выполнения соответствующих научных экспериментов, и никак не связана со сложностью изложения этого вопроса в том или ином учебнике физики. Понятно, что субъективные трудности, которые испытывает учащийся при изучении той или иной темы, зависят: 1) от объективной сложности анализируемых экспериментов и теорий; 2) от уровня требований учителя (сложности изложения этих вопросов в учебнике); 3) от индивидуальных способностей учащегося абстрактно мыслить, проводить качественные рассуждения и математические преобразования.

Человеческая цивилизация, наука, культура, технология в целом развиваются поступательно от простого к сложному. Понятно, что возникновению таких сложных теорий, как теория относительности или теория сверхпроводимости предшествовало открытие более простых истин: рычаг, плавание тел, механика Ньютона, молекулярно–кинетическая теория, теория электромагнитных волн и т.д. Это не случайно: данный путь развития физической науки обусловлен особенностями восприятия человеком окружающего мира, а также закономерностями развития техники и технологии. Совершенствование техники физического эксперимента привело к установлению новых фактов и стимулировало появление новых более сложных теоретических моделей. Очевидно, что теория относительности Эйнштейна объективно сложнее механики Галилея–Ньютона, хотя бы потому, что для ее открытия человечеству пришлось пройти существенно больший путь в познании окружающего мира. Выдвижение новых идей, построение новых теорий потребовало установления новых фактов, экспериментальной проверки тех или иных положений. Возможности экспериментальной физики расширились по мере развития техники и технологии, которая в среднем тоже развивалась поступательно от простого к сложному.

Установлено, что развитие науки и техники было неравномерным: количество ученых, школ, университетов, научных журналов, книг и другие показатели уровня развития науки возрастали по экспоненциальному закону: сначала медленно, а затем все быстрее и быстрее. Допустим, что все ученые в мире ра-

ботают над одной проблемой, а количество изменяется по закону $N = N_0 \exp(At)$. Проблема оказывается решенной в момент T . Ее сложность пропорциональна количеству затраченных человеко–часов:

$$S = \int_0^T N_0 e^{At} dt = \frac{N_0 e^{AT}}{A} - \frac{N_0}{A} = e^{AB} e^{AT} - e^{AB}, \text{ где } e^{AB} = \frac{N_0}{A}.$$

Второе слагаемое остается постоянным, его можно отбросить. Отсюда следует, что объективная сложность элемента знания (ЭЗ) связана со временем открытия этого ЭЗ экспоненциальным законом: $S = \exp(A(T + B))$, где T измеряется в годах, а коэффициенты A и B зависят от выбора шкалы. Мысль о том, что сложность элемента научного знания связана с годом его установления указанным выше образом, высказывалась профессором Майером В.В. более десятка лет назад.

Современный курс физики включает в себя знания, установленные со времен Аристотеля (300 лет до н.э.) до 2000 года. Пусть объективная сложность теории Аристотеля, для которой $T = -300$ равна 1 усл.ед. Сложность открытия (не важно какого именно), совершенного в 2000 году ($T = 2000$), будем считать равной 100. Из уравнения $1 = \exp(A(-300 + B))$ следует, что $B = 300$ лет. Коэффициент A находится из уравнения $100 = \exp(A(2000 + 300))$. Решая его, получаем: $A = \ln 100 / 2300 = 0,002002248... \text{год}^{-1}$. Понимая приблизительный характер установленного соотношения, округлим A и B до одной значащей цифры. В результате получим, что объективную сложность элемента учебного материала удобно рассчитывать по формуле: $S = \exp(0,002(T + 300))$. В этом случае сложность $S = 100$ усл. ед. соответствует открытию, состоявшемуся примерно в 2005 году.

Таблица 1. Сложность различных тем школьного курса физики (10 и 11 кл.)

Элемент знания	Год от-крытия	Страница учебника	Момент изучения	Объектив-ная слож-ность	Средняя слож-ность
МЕХАНИКА					
Классический закон сложения скоростей	1590	27	0,063	43,8	51,2
Падение тел, опыт Галилея	1590	38	0,098	43,8	
Законы Ньютона	1666	65	0,184	51,0	
Принцип относительности Галилея	1600	73	0,209	50,6	
Закон всемирного тяготения	1667	79	0,228	51,1	
Опыт Кавендиша, определение G	1798	83	0,241	66,4	
Закон Гука, упругие деформации	1670	90	0,263	51,4	

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА					
Основы МКТ	1740	145	0,437	59,1	71,3
Броуновское движение	1827	147	0,443	70,4	
Постоянная Больцмана	1885	168	0,509	79,0	
Шкала Кельвина	1880	167	0,506	78,3	
Опыт Штерна	1920	171	0,519	84,8	
Уравнение Менделеева–Клапейрона	1870	176	0,535	76,7	
Закон Бойля–Мариотта	1670	178	0,541	51,4	
Закон Гей–Люссака	1830	179	0,544	70,8	
Закон Шарля	1787	180	0,547	65,0	
Закон сохранения энергии (Майер)	1850	205	0,627	73,7	
Второе начало термодинамики (Клаузиус)	1870	211	0,646	76,7	
Цикл Карно	1824	220	0,675	70,0	
ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА					
Электризация, электромметр	1750	230	0,706	60,3	66,2
Два вида электричества	1734	230	0,706	58,4	
Закон сохранения заряда	1843	231	0,709	72,7	
Закон Кулона	1785	233	0,715	64,7	
Электрическое поле (Фарадей)	1831	241	0,741	71,0	
Емкость	1746	261	0,804	60,0	
Электрический ток (Вольта)	1795	271	0,835	66,0	
Закон Ома	1826	275	0,848	70,2	
Закон Джоуля–Ленца	1840	279	0,861	72,2	
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ					
Электронная проводимость металлов	1915	289	0,892	83,9	81,8
Сверхпроводимость	1911	292	0,902	83,2	
Транзистор	1940	301	0,930	88,2	
Полупроводники (Браун)	1906	295	0,911	82,4	
Ток в вакууме	1895	305	0,943	80,6	
Открытие электролиза	1832	309	0,956	71,1	
Получение плазмы	1879	315	0,975	78,1	
Электронно–вакуумный диод, ЭЛТ	1930	303	0,937	86,5	
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ					
Магнитное взаимодействие токов	1820	11	1,025	69,4	74,2
Сила Лоренца	1900	17	1,044	81,5	
Гипотеза Ампера	1820	20	1,054	69,4	
Электро–магнитн. индукция (Фарадей)	1831	27	1,076	71,0	
Вихревое поле (Максвелл)	1865	34	1,098	75,9	
Трансформатор	1878	107	1,330	77,9	
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ					
Электромагнитные волны (Максвелл)	1865	131	1,406	75,9	81,1
Опыты Герца с ЭМ волнами	1886	135	1,419	79,2	
Радио Попова	1896	139	1,432	80,8	
Принципы радиосвязи	1910	143	1,444	83,1	
Телевидение	1930	151	1,470	86,5	
ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ И ВОЛНОВАЯ ОПТИКА					
Теория света (Гюйгенс)	1666	161	1,506	51,0	56,9
Теория света (Ньютона)	1666	162	1,505	51,0	
Измерение скорости света (Ремер)	1676	158	1,492	52,0	
Измерение скорости света (Физо)	1849	159	1,495	73,6	
Закон преломления	1626	164	1,511	47,1	
Дисперсия	1666	184	1,575	51,0	
Опыт Юнга (интерференция)	1802	197	1,616	67,0	
Кольца Ньютона (интерференция)	1670	191	1,597	51,4	

Опыты Френеля (диффракция)	1810	198	1,619	68,0	
ОСНОВЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ					
Специальная теория относительности	1910	214	1,670	83,1	81,9
Опыт Майкельсона–Морли	1881	213	1,667	78,4	
Постулаты СТО	1910	214	1,670	83,1	
Следствия СТО	1910	218	1,683	83,1	
КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ. АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА					
Спектрометр	1860	229	1,717	75,2	84,96
Рентгеновские лучи	1895	235	1,737	80,6	
Гипотеза Планка	1900	241	1,756	81,5	
Теория фотоэффекта (Эйнштейн)	1905	245	1,768	82,3	
Гипотеза де–Бройля	1923	248	1,778	85,3	
Опыт Лебедева	1900	251	1,787	81,5	
Опыт Резерфорда	1911	256	1,803	83,3	
Постулаты Бора	1913	260	1,816	83,6	
Серия Бальмера	1885	262	1,822	79,0	
Лазер	1954	265	1,832	90,7	
Счетчик Гейгера	1908	270	1,848	82,8	
Камера Вильсона	1912	271	1,851	83,4	
Пузырьковая камера	1952	272	1,854	90,4	
Радиоактивность	1896	274	1,860	80,8	
Теория радиоактивности	1898	274	1,860	81,1	
Альфачастицы	1920	277	1,870	84,8	
Превращен ядер	1919	284	1,892	84,6	
Открытие нейтрона	1932	285	1,895	86,8	
Протон–нейтронная модель ядра	1932	287	1,902	86,8	
Деление ядер	1938	292	1,917	87,9	
Цепная ядерная реакция	1942	299	1,940	88,6	
Ядерная бомба	1945	302	1,949	89,1	
Элементарные частицы	1900	310	1,975	81,5	
Позитроны, античастицы	1945	310	1,975	89,1	
Гипотеза о кварках	1964	313	1,984	92,6	
Антигелий	1969	314	1,987	93,5	

С целью оценки сложности различных тем школьного курса физики нами были проанализированы два учебника физики за 10 и 11 классы [2, 3], в которых представлены все основные вопросы курса. Для каждой темы был составлен список входящих в нее элементов знаний (факты, законы, принципы, теории) с указанием года их установления или открытия закона и по приведенной выше формуле определена объективная сложность. Кроме того, исходя из страницы учебника, на которой упоминается данный ЭУМ, было установлено его время изучения t , отсчитываемое от начала 10 класса. Для учебников 10 и 11 классов использовались формулы: $t = n_{cmp,10} / N_{10}$ или $t = 1 + n_{cmp,11} / N_{11}$ соответственно. Здесь $n_{cmp,10}$, $n_{cmp,11}$ — номер страницы учебника за 10 или 11 класс, на которой рассмотрен ЭУМ, N_{10} , N_{11} — общее количество страниц в этих учебниках. При этом момент изучения t (в годах) изменяется в интервале от 0 до 2 лет. Результаты сведены в таблицу 1.

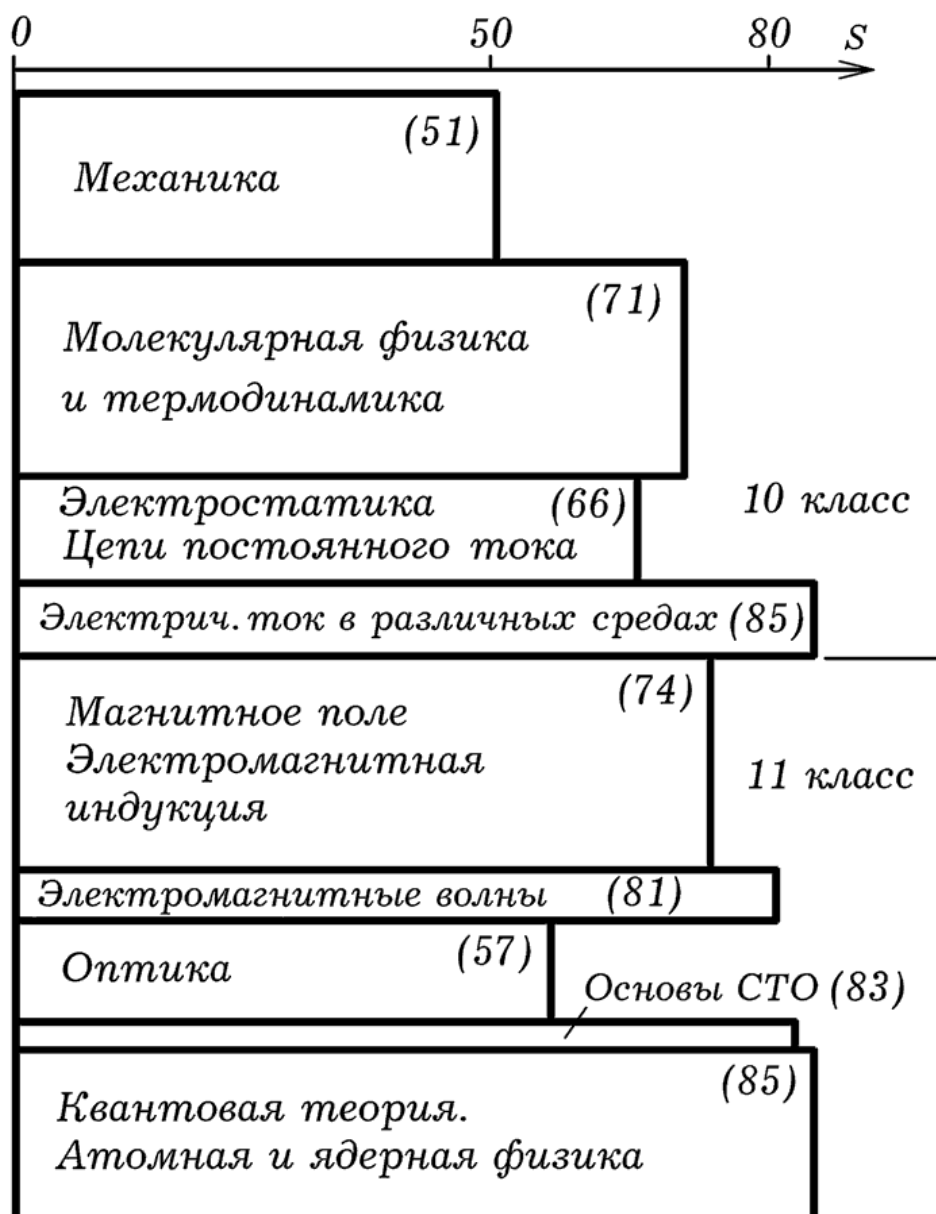


Рис. 1. Объективная сложность различных вопросов курса физики.

По представленным в таблице данным можно построить диаграмму, показывающую, как изменяется сложность изучаемого материала с течением времени (10 – 11 классы). Видно, что сложность S изменяется не монотонно, но в среднем возрастает, что соответствует принципу “от простого к сложному”. Полученные результаты позволяют утверждать, что, например, механика объективно проще, чем молекулярная физика и электродинамика, а явления квантовой физики существенно сложнее оптических явлений.

К тем же выводам можно прийти, анализируя распределение ЭУМ на плоскости “сложность S – время изучения в школе t ” (рис. 2). В целом точки усредняются возрастающей кривой; провал в середине 11 класса соответствует оптическим явлениям.

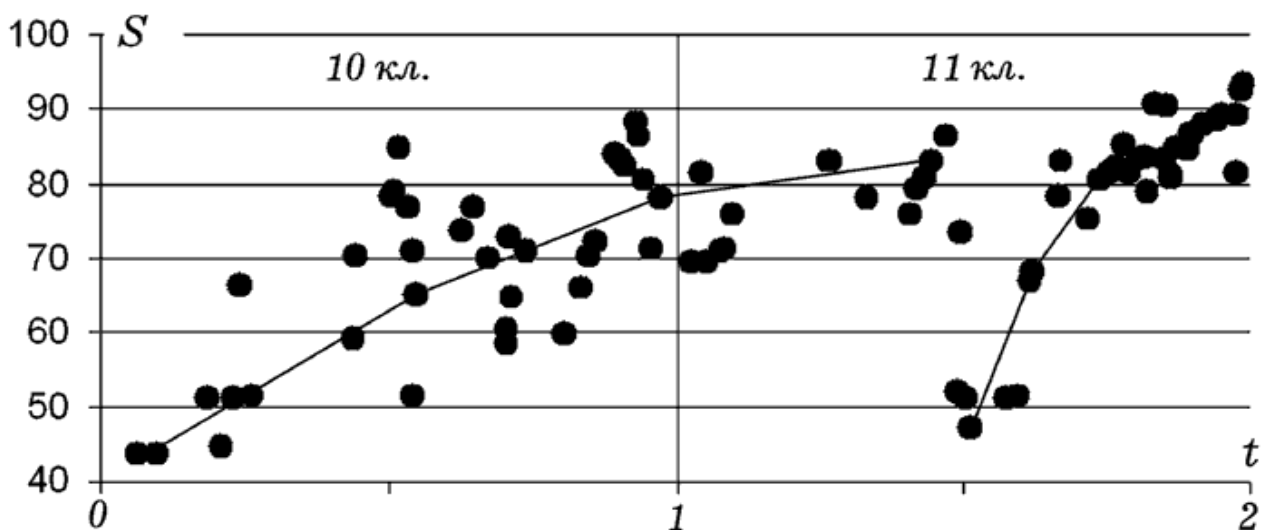


Рис. 2. Распределение ЭУМ на плоскости сложность – время изучения.

Автор не нашел опубликованных работ по данной теме. Если такие работы известны читателю, он может выслать их электронные копии по адресу robert_maier@mail.ru.

Литература

1. Мякишев Г.Я. Физика: Учеб. для 10 кл. общеобразоват. учреждений / Г.Я.Мякишев, Б.Б.Буховцев, Н.Н.Соцкий. — М.: Просвещение, 2004.— 336 с.
2. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б. Физика: Учеб. для 11 кл. общеобразоват. учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев. — М.: Просвещение, 2004. — 336 с.
3. Сайт “Информатика и физическое образование” [Электронный ресурс]: URL: <http://rmaier.narod.ru> (дата обращения 02.10.2012).