



“Involta” Ilmiy Jurnalni

Vebsayt: <https://involta.uz/>

ИЗМЕРЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ГАММА-ЛУЧЕЙ ИЗ РЕАКЦИИ $^{27}\text{Al}(p,\gamma)^{28}\text{Si}$

Саидов Сафо Олимович

кандидат химических наук, доцент кафедры Физики Бухарского
государственного университета, тел.: +99890-711-31-20

Туксанова Зилола Иззатуллаевна

старший преподаватель кафедры физики Бухарского государственного
университета, тел.: +99891-400-07-83

Аннотация. В статье обсуждены результаты измерения углового распределения гамма-лучей, определены и уточнены спины для 15 из наблюдаемых 68 уровней, определены коэффициенты смещивания мультипольностей для 7 прямых переходов разряжающих резонансные уровни. Экспериментальные значения энергий четырех уровней и вероятности E2 переходов разряжающие эти уровни сравниваются с расчетами по модели Давыдова для неаксиального четно-четного ядра ^{28}Si .

Ключевые слова. Электромагнитное излучение, гамма излучение, изучение спектров ядерного гамма-излучения и гамма-излучения.

Гамма излучение – электромагнитное излучение, принадлежащее наиболее высокочастотной (коротковолновой) части спектра электромагнитных волн [1,2]. В таблице 1 приведена классификация электромагнитных волн: на шкале электромагнитных волн гамма-излучение соседствует с рентгеновскими лучами, но имеет более короткую длину волны. Первоначально термин “гамма-излучение” относился к тому типу излучения радиоактивных ядер, который не отклонялся при прохождении через магнитное поле, в отличие от α - и β -излучений. Условно верхней границей длин волн гамма-излучения, отделяющей его от рентгеновского излучения, можно считать величину 10^{-10} м. При столь малых длинах волн первостепенное значение имеют корпускулярные свойства излучения. Гамма-излучение представляет собой поток частиц - гамма-квантов или фотонов, с энергиями $E = h\nu$ (h – постоянная Планка, равная $4.14 \cdot 10^{-15}$ эВ·с, ν – частота электромагнитных колебаний). Условно, фотоны с энергиями $E > 10$ кэВ относятся к гамма-квантам. Между длиной волны λ гамма-излучения и его частотой ν существует то же соотношение, что и для других типов электромагнитных волн: $\nu \cdot \lambda = c$ (c – скорость света).

Таблица 1. Классификация электромагнитных волн

Название	Длина волны, м	Частота, Гц
Радиоволны	$3 \cdot 10^5 - 3$	$10^3 - 10^8$
Микроволны	$3 - 3 \cdot 10^{-3}$	$10^8 - 10^{11}$
Инфракрасное излучение	$3 \cdot 10^{-3} - 8 \cdot 10^{-7}$	$10^{11} - 4 \cdot 10^{14}$
Видимый свет	$8 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{14} - 8 \cdot 10^{14}$
Ультрафиолетовое излучение	$4 \cdot 10^{-7} - 3 \cdot 10^{-9}$	$8 \cdot 10^{14} - 10^{17}$
Рентгеновское излучение	$3 \cdot 10^{-9} - 10^{-10}$	$10^{17} - 3 \cdot 10^{18}$
Гамма-излучение	$< 10^{-10}$	$> 3 \cdot 10^{18}$

Частота гамма-излучения ($>3 \cdot 10^{18}$ Гц) отвечает скоростям электромагнитных процессов, протекающих внутри атомных ядер и с участием элементарных частиц. Поэтому источниками гамма-излучения могут быть атомные ядра и частицы, а также ядерные реакции и реакции между частицами, в частности аннигиляция пар частица-античастица. И наоборот, гамма-излучение может поглощаться атомными ядрами и способно вызывать превращения частиц. Изучение спектров ядерного гамма-излучения и гамма-излучения, возникающего в процессах взаимодействия частиц, дает важную информацию о структуре этих микрообъектов.

Гамма-излучение может также возникать при торможении быстрых заряженных частиц в среде (тормозное гамма-излучение) или при их движении в сильных магнитных полях (синхротронное излучение). Источниками гамма-излучения являются также процессы в космическом пространстве. Космические гамма-лучи приходят от пульсаров, радиогалактик, квазаров, сверхновых звёзд.

Гамма-излучение ядер испускается при переходах ядра из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией, и энергия испускаемого гамма-кванта с точностью до незначительной энергии отдачи ядра равна разности энергий этих состояний (уровней) ядра. Энергия ядерного гамма-излучения обычно лежит в интервале от нескольких кэВ до нескольких МэВ и спектр этого излучения линейчатый, т. е. состоит из ряда дискретных линий. Изучение спектров ядерного гамма-излучения позволяет определить энергии состояний (уровней) ядра.

При распадах частиц и реакциях с их участием обычно испускаются гамма-кванты с большими энергиями - десятки-сотни МэВ.

Гамма-излучение, образующееся при прохождении быстрых заряженных частиц через вещество, вызывается их торможением в кулоновском поле ядер вещества. Тормозное гамма-излучение имеет сплошной, спадающий с ростом энергии спектр, верхняя граница которого совпадает с кинетической энергией

заряженной частицы. На ускорителях заряженных частиц получают тормозное гамма-излучение с энергиями до нескольких десятков ГэВ и более.

Угловые распределения гамма-лучей из реакции (p,γ) измерялись для определения значения спина ряда резонансных состояний ядра ^{28}Si . Угловые распределения измерялись HPGe детектором (из сверхчистого германия) на расстоянии 7 см от мишени и при углах 0° , 45° и 90° относительно направления пучка. Спектры, полученные при каждом из этих углов, хранились в персональном компьютере. Последовательность $0^\circ \rightarrow 90^\circ \rightarrow 0^\circ$ повторялась несколько раз, пока не набралась необходимая статистика обеспечивающая точность не хуже 3% и проверялись центровка детектора и затухание γ -лучей.

Анализ данных методом наименьших квадратов в терминах полиномов Лежандра в выражении $N(\theta) = B(1 + A_2P_2 + A_4P_4)$ дал значения для коэффициентов корреляции A_2 и A_4 . Результаты показаны в таблице 2.

Таблица 2. Нерезонансные уровни в ^{28}Si

Настоящая работа	Работа [3]	Возбуждается при резонансах, Ер, кэВ
7415.2±2.0	7418.6±1.0 ^{a)}	
9478.5±2.5	9480.4 ±1.5	
9765.0±2.2	9761.5±1.4	
9793.8±2.0		679, 1262, 1381
9929.3±2.0	9930±7	
10514.9±2.0		979, 1662
10541.0±2.0	10540±3	
10598.2±2.0	10594±2.0 ^{b)}	
10668.8±2.4	10668±5	
10884.1±2.0		937, 1172, 1262, 1502
10901.5±2.0	10901±3	
10915.9±2.0	10915.7±1.3	

10945.4±2.0	10945±3	
11078.1±2.0	11077.5±1.3	
11434.3±1.0	11432±2	937, 1090, 1900, 2132
11434.6±1.5		1118, 1800, 1900, 2303
11778.8±1.5		1588, 1911

Таблица 3. Коэффициенты угловых распределений гамма-лучей из реакции $^{27}\text{Al}(p,\gamma)^{28}\text{Si}$ и выводы о спинах уровней ^{28}Si

E_p , кэВ	Переходы	A_2	A_4	Значение спина уровня	
				Настоящая работа	Работа[3]
406	$r \rightarrow 4.62$	0.14 ± 0.03	-0.04 ± 0.06	$2^+, 3^+, 4^+$	(4^+)
	$r \rightarrow 8.59$	-0.23 ± 0.14	-0.28 ± 0.21		
679	$r \rightarrow 1.78$	-0.14 ± 0.01	-0.01 ± 0.03	3	3^+
	$r \rightarrow 4.62$	-0.09 ± 0.02	-0.08 ± 0.03		
	$r \rightarrow 7.42$	-0.06 ± 0.02	0.03 ± 0.03		
742	$r \rightarrow 1.78$	-0.03 ± 0.07	-0.00 ± 0.10	$1^-, 2^+$	(2^+)
	$r \rightarrow 8.90$	-0.08 ± 0.08	-0.10 ± 0.11		
	$r \rightarrow 9.50$	-0.17 ± 0.06	-0.01 ± 0.08		
	$r \rightarrow 10.60$	-0.41 ± 0.18	0.21 ± 0.27		
	$r \rightarrow 10.72$	-0.03 ± 0.08	-0.16 ± 0.11		
1025	$r \rightarrow 1.78$	-0.07 ± 0.03	0.04 ± 0.04	2	$(1^+, 2)$
	$r \rightarrow 7.80$	-0.13 ± 0.01	0.06 ± 0.01		
	$r \rightarrow 8.26$	-0.11 ± 0.09	-0.06 ± 0.14		
1213	$r \rightarrow 1.78$	-0.03 ± 0.02	-0.03 ± 0.03	$1^+, 2^+$	$1^-, 2^+$
	$r \rightarrow 6.69$	0.19 ± 0.03	0.03 ± 0.05		
1328	$r \rightarrow 1.78$	-0.06 ± 0.01	-0.10 ± 0.02	$2^+, 3^+$	$2 - 4(2,3)^+$
	$r \rightarrow 4.62$	-0.06 ± 0.05	-0.07 ± 0.07		
1381	$r \rightarrow 1.78$	-0.10 ± 0.01	0.01 ± 0.01	$2^+, 3$	$(2,3)^+$
	$r \rightarrow 4.62$	-0.14 ± 0.04	-0.05 ± 0.05		

	$r \rightarrow 6.28$	-0.09 ± 0.12	-0.00 ± 0.14		
1388	$r \rightarrow 1.78$	-0.09 ± 0.01	-0.03 ± 0.01	2^+	2^+
	$r \rightarrow 6.28$	-0.08 ± 0.06	0.03 ± 0.08		
1457	$r \rightarrow 4.62$	0.32 ± 0.15	0.05 ± 0.19	3^-	3^-
	$r \rightarrow 7.80$	-0.33 ± 0.08	-0.03 ± 0.10		
1502	$r \rightarrow 1.78$	-0.29 ± 0.04	-0.02 ± 0.05	$2, 3$	2^+
	$r \rightarrow 4.62$	-0.24 ± 0.12	0.09 ± 0.15		
1520	$r \rightarrow 1.78$	-0.24 ± 0.02	0.10 ± 0.03	2	2^-
	$r \rightarrow 6.88$	0.07 ± 0.06	-0.04 ± 0.07		
1566	$r \rightarrow 6.89$	-0.14 ± 0.11	0.09 ± 0.14		
	$r \rightarrow 7.80$	-0.29 ± 0.08	-0.09 ± 0.10	$2^+, 3^-$	$(3^-, 4^+)$
	$r \rightarrow 9.32$	-0.27 ± 0.05	0.09 ± 0.05		
1588	$r \rightarrow 1.78$	-0.09 ± 0.01	-0.02 ± 0.01		
	$r \rightarrow 4.62$	-0.08 ± 0.03	-0.00 ± 0.04	3	$(2 - 4)$
	$r \rightarrow 6.28$	0.05 ± 0.08	0.01 ± 0.09		
1911	$r \rightarrow 4.62$	-0.92 ± 0.03	0.19 ± 0.04	5^+	
	$r \rightarrow 6.89$	-0.25 ± 0.03	-0.02 ± 0.04		
1969	$r \rightarrow 1.78$	0.02 ± 0.06	-0.01 ± 0.08	2	
	$r \rightarrow 6.28$	-0.17 ± 0.10	0.07 ± 0.12		

Количество импульсов, наблюдаемых под каждым углом, использовалось в качестве входных данных для компьютерной программы, рассчитавшей значение $Q^2 = \sum_{i=1}^4 \left(\frac{BN_i(\theta_i) - N(\theta_i)}{\Delta N(\theta_i)} \right)^2$, где B - константа нормировки, а $N_i(\theta_i)$ задается формулой:

$$N_i(\theta_i) = 1 + Q_2 A_2^* P_2(\cos\theta_i) + Q_4 A_4^* P_4(\cos\theta_i).$$

Величины Q_2 и Q_4 являются коэффициентами затухания, учитывающими конечный размер детектора, и A_2^* и A_4^* являются теоретическими коэффициентами, которые представляют собой функции параметров разрядки уровня и коэффициентов смешивания гамма-перехода.

Соответствующие параметры в теоретических выражениях для A_2^* и A_4^* были систематизированы, чтобы найти минимумы χ^2 из Q^2 . Найденное значение спина считалось единственным, когда соответствующий χ^2 находился ниже предела 0,1%, тогда как все остальные спины дали значения χ^2 выше этого предела.

Таблица 4. Коэффициенты смешивания прямого перехода с резонансного уровня спин которого был определен однозначно

E_p	I	Переход	Коэффициент смешивания
679	3^5	$r \rightarrow 1.78$	0.36 ± 0.04
		$r \rightarrow 4.62$	-1.70 ± 0.18
		$r \rightarrow 7.42$	0.00 ± 0.03
1911	5	$r \rightarrow 4.62$	1.43 ± 0.11
		$r \rightarrow 6.89$	0.00 ± 0.03
1969	2	$r \rightarrow 1.78$	0.27 ± 0.05
		$r \rightarrow 6.28$	-2.75 ± 1.00

Результаты и выводы измерений углового распределения показаны в таблице 3. Было обнаружено, что J^π резонанса $E_p = 679$ кэВ 3^+ [4]. Вывод о положительной четности сделан из анализа параметров разрядки уровня. Коэффициенты смешивания прямых переходов, которые дали единственные значения спины, показаны в таблице 4.

Сравнение некоторых экспериментальных результатов производилось с известными теоретическим расчетами [5,6]. Уровни $E_{ур} = 0, 1.78, 4.62$ и 8.54 МэВ со следующими спинами и четностями $J^\pi = 0^+, 2_1^+, 4_1^+$ и 6_1^+ считаются членами вращательной полосы основного состояния аксиально-симметричного четно - четного ядра ^{28}Si . Как было показано Давыдовым и др. [5,6], что нарушение аксиальной симметрии в четно-четных ядрах лишь незначительно влияет на спектр вращения осесимметричного ядра и в результате появляются новые уровни с $J^\pi = 2_2^+, 3^+, 4_2^+ \dots$. Если отклонение от аксиальной симметрии невелико, то эти уровни лежат очень высоко. С другой

стороны, если отклонение от аксиальной симметрии увеличивается, некоторые дополнительные уровни лежат намного ниже. Выражения для энергий и сильных переходов были получены Давыдовым и др. в терминах параметра γ , который определяет отклонение формы ядра от аксиальной симметрии, собственного квадрупольного момента и энергетического параметра A .

Таблица 5. Энергия и интенсивность перехода в неаксиальном ядре ^{28}Si

Начальный уровень, МэВ		Переход	$I_i \rightarrow I_t$	Вероятность E2 перехода (в.е.)	
Эксперимент	Теория[7,8]			Эксперимент	Теория[7,8]
1.78	1.55	$1.78 \rightarrow 0$	$2_1^+ \rightarrow 0^+$	13 ± 1	14 ± 1
4.62	4.90	$4.62 \rightarrow 1.78$	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	22 ± 4	20 ± 1
7.38	7.19	$7.38 \rightarrow 0$	$2_2^+ \rightarrow 0^+$	0.3 ± 0.1	0.9 ± 0.1
		$7.38 \rightarrow 1.78$	$2_2^+ \rightarrow 2_1^+$	2.2 ± 0.6	3.6 ± 0.2
8.54	9.76	$8.54 \rightarrow 4.62$	$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	>34	23 ± 2

Уровни $E_{ур} = 1,78, 4,62, 7,38$ и $8,54$ МэВ считались членами вращательной полосы $2_1^+, 4_1^+, 2_2^+$ и 6_1^+ неаксиально-симметричного ядра ^{28}Si . Квадрупольный момент уровня $E_{ур} = 1,78$ МэВ равен $Q(2_1^+) = +0,16 \pm 0,03$ е · б [9]. Поэтому внутренний квадрупольный момент $Q_0 = -(0,62 \pm 0,12)$ е · б для $\gamma = 180$. Это значение для γ дает наблюдаемую спиновую последовательность в ^{28}Si . Интенсивность нескольких E2 переходов, рассчитанные с этими значениями γ и Q_0 , показаны в таблице 5. Энергии уровней были рассчитаны с приведенным выше значением γ и $A = 318$ кэВ. Результаты показаны в таблице 6 и находятся в разумном согласии с экспериментальными значениями.

Сравнение некоторых экспериментальных результатов производилось с известными теоретическим расчетами [5,6]. Уровни $E_{ур} = 0, 1.78, 4.62$ и 8.54 МэВ со следующими спинами и четностями $J^\pi = 0^+, 2_1^+, 4_1^+$ и 6_1^+ считаются членами вращательной полосы основного состояния аксиально-симметричного четно - четного ядра ^{28}Si . Как было показано Давыдовым и др. [5,6], что нарушение аксиальной симметрии в четно-четных ядрах лишь незначительно влияет на спектр вращения осесимметричного ядра и в результате появляются новые уровни с $I^\pi = 2_2^+, 3^+, 4_2^+ \dots$. Если отклонение от аксиальной симметрии невелико, то эти уровни лежат очень высоко. С другой стороны, если отклонение от аксиальной симметрии увеличивается, некоторые дополнительные уровни лежат намного ниже. Выражения для энергий и сильных переходов были получены Давыдовым и др. в терминах параметра γ , который определяет отклонение формы ядра от аксиальной симметрии, собственного квадрупольного момента и энергетического параметра A .

Таблица 6. Энергия и интенсивность перехода в неаксиальном ядре ^{28}Si

Начальный уровень, МэВ		Переход	$I_i \rightarrow I_t$	Вероятность E2 перехода (в.е.)	
Эксперимент	Теория[7,8]			Эксперимент	Теория[7,8]
1.78	1.55	$1.78 \rightarrow 0$	$2_1^+ \rightarrow 0^+$	13 ± 1	14 ± 1
4.62	4.90	$4.62 \rightarrow 1.78$	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$	22 ± 4	20 ± 1
7.38	7.19	$7.38 \rightarrow 0$	$2_2^+ \rightarrow 0^+$	0.3 ± 0.1	0.9 ± 0.1
		$7.38 \rightarrow 1.78$	$2_2^+ \rightarrow 2_1^+$	2.2 ± 0.6	3.6 ± 0.2

8.54	9.76	8.54 → 4.62	$6_1^+ \rightarrow 4_1^+$	>34	23 ± 2
------	------	-------------	---------------------------	-----	------------

Уровни $E_{ур} = 1,78, 4,62, 7,38$ и $8,54$ МэВ считались членами вращательной полосы $2_1^+, 4_1^+, 2_2^+$ и 6_1^+ неаксиально-симметричного ядра ^{28}Si . Квадрупольный момент уровня $E_{ур} = 1,78$ МэВ равен $Q(2_1^+) = +0,16 \pm 0,03 e \cdot b$ [9]. Поэтому внутренний квадрупольный момент $Q_0 = -(0,62 \pm 0,12) e \cdot b$ для $\gamma = 180$. Это значение для γ дает наблюдаемую спиновую последовательность в ^{28}Si . Интенсивность нескольких E2 переходов, рассчитанные с этими значениями γ и Q_0 , показаны в таблице 6. Энергии уровней были рассчитаны с приведенным выше значением γ и $A = 318$ кэВ. Результаты показаны в таблице 6 и находятся в разумном согласии с экспериментальными значениями.

В результате проведенных исследований подтверждены существование 53 резонансных, 15 нерезонансных уровней и установлены гамма-распад (коэффициенты ветвления) резонансных и нерезонансных уровней ядра ^{28}Si возбуждаемые в реакции $^{27}\text{Al}(p,\gamma)$ в энергетическом интервале налетающих протонов 0,3-2,0 МэВ. Четыре уровни с энергиями $E_{ур} = 9793,8 \pm 2,0, 10513,5 \pm 1,0, 10884,1 \pm 2,0$ и $11778,8 \pm 1,5$ кэВ установлены впервые. Установлено, что уровень при $E_{ур} = 11,43$ МэВ является дублетом.

По результатам измерения углового распределения гамма-лучей определены или уточнены спины для 15 из наблюдаемых 68 уровней, определены коэффициенты смещения мультипольностей для 7 прямых переходов разряжающих резонансные уровни.

Экспериментальные значения энергий четырех уровней и вероятности E2 переходов разряжающие эти уровни сравниваются с расчетами по модели Давыдова для неаксиального четно-четного ядра ^{28}Si .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. C. Angulo et al. Nucl. Phys. A656 (1999) 3.
2. E.G. Adelberger et al. Rev. Mod. Phys. 83 (2011) 195.

3. Arazi et al., Nucl. Instr. and Meth. B 223 (2004) 259.
4. Арифов А.Я. и др. Относительная вероятность заселения изомеров в реакциях радиационного захвата. - Ядерная физика, т.34, вып.4, 1981, с. 1028-1043.
5. У.А.Фаулер. Экспериментальная и теоретическая ядерная астрофизика, поиски происхождения элементов. УФН,1983, т.145(3), с.441- 488.
6. Ядерная астрофизика. Под ред. Ч.Барнса, Д.Клейтона, Д.Шрамма. Пер. с английского, М.: Мир, 1986.-519с.
7. Методика выполнения измерений удельной активности радионуклидов радия-226, тория-232, калия-40, цезия-137, стронция-90 в пробах продукции промышленных предприятий, предприятий сельского хозяйства и объектов окружающей среды. Инструкция по отбору проб из водных объектов и изготовлению счетных образцов Санкт-Петербург (2005). Свидетельство об аттестации 805/05. ФГУП ВНИИМ им Д.И.Менделеева.
8. Методика выполнения измерений плотности потока Радона-222 с различных поверхностей. ООО РАДЭК, Санкт-Петербург 2007. Свидетельство об аттестации №225/09. ФГУП ВНИИМ им Д.И.Менделеева.
9. Давыдов М. Г., Магеро В. Г., Тулухов А. В. Изомерные отношения выходов сечений фотоядерных реакций. – Атомная энергия, 1987, Т. 62, вып. 4, с. 232 – 243.
10. Саидов С.О, Туксанова З.И. Ҳозирги замон физикасини олий таълимда ўқитишнинг айрим долзарб масалалари // Innovation in the modern education system Part 2 January 2021 Colletions of scientific works Washington, USA 25th January 2021.
11. Саидов С.О, Туксанова З.И. Эффект Холла как один из методов исследования свойств твердого тела // Узбекистон олимлари ва ёшларининг инновацион илмий-амалий тадқиқотлари мавзусидаги конференция Тошкент 2021 йил.

12. Саидов С.О, Туксанова З.И. Тестологияда типологиянинг масалалари / Eurasian journal of academic research. Volume 1 Issue 7, October 2021.
13. Туксанова З.И., Носирова Н. Solving Problems is an Important Part of Learning Physics // Central asian journal of mathematical theory and computer sciences Volume: 02 Issue: 10 | Oct 2021 ISSN: 2660-5309.
14. Саидов С.О., Туксанова З.И. Микромир – от атома Демокрита до кварков // Образование и наука XXI веке. Научно образовательный научный журнал. Декабрь 2021 год.
15. Саидов С.О., Туксанова З.И. Microcosm - from the atom of democritus to quarks // Humanite Congress- International Multidisciplinary Virtual Conference Hosted From Lyon, France <https://conferencepublication.com> December 19 th 2021.
16. Кодиров Ж.Р., Маматрузиев М., Составление программного обеспечения, алгоритм и расчет математической модели применения свойств солнечного опреснителя к точкам заправки топливом.// Молодой ученый, (2018) С 50-53.
17. Кодиров Ж.Р., Маматрузиев М. Изучение принципа работы устройства насосного гелио-водоопреснителя.//Международный научный журнал «Молодой ученый», 26 (2018) С 48-49.
18. Кодиров Ж.Р, Хакимова С.Ш, Мирзаев Ш.М. Анализ характеристик параболического и параболоцилиндрического концентраторов, сравнение данных, полученные на них.// Вестник ТашИИТ №2 2019 С 193-197.
19. Кодиров Ж.Р., Мавлонов У.М., Хакимова С.Ш. Аналитический обзор характеристик параболического и параболоцилиндрического Концентраторов.// Наука, техника и образование 2021. № 2 (77). С 15-19.
20. Ибрагимов С.С., Кодиров Ж.Р., Хакимова С.Ш.. Исследование усовершенствованной сушилки фруктов и выбор поверхностей, образующих явление естественной конвекции.//Вестник науки и образования (2020)№ 20 (98). С 6-9.

21. Мирзаев Ш.М., Кодиров Ж.Р., Ибрагимов С.С. Способ и методы определения форм и размеров элементов солнечной сушилки. Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2021;(25-27):30-39. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2021.09.030-039>.
22. Mirzaev, Sh M.; Kodirov, J R. Ibragimov, S S. (2021) "Method and methods for determining shapes and sizes of solar dryer elements," // *Scientific-technical journal*: Vol. 4: Iss. 4, Article 11.
23. Qodirov, J. (2022). Установление технологии процесса сушки абрикосов на гелиосушилках.// Центр научных публикаций. Том 8 № 8 (2021)
24. Mirzayev Sh.M., Qodirov J.R., Hakimov B. Quyosh qurilmalarida o'riklarni quritish uchun mo'ljallangan quyosh qurilmasini yaratish va uning ishlash rejimini tadqiq qilish.// *Involta Scientific Journal*, 1(5), 371–379. (2022).
25. Sh. Mirzaev., J. Kodirov., Khakimov Behruz. Research of apricot drying process in solar dryers.// Harvard Educational and Scientific Review. Vol. 1 No. 1 (2021).
26. Qodirov, J. Quyosh meva quritgichi qurilmasining eksperiment natijalari. // центр научных публикаций. Том 1 № 1 (2020).
27. Arabov Jasur Olimboyevich., Hakimova Sabina Shamsiddin qizi., To'xtayeva Iqbola Shukurillo qizi. Past haroratli qiya ho'llanadigan sirtli quyosh suv chuchutgichlarida bug'lanadigan sirt bilan kondensatsiyaladigan sirt orasidagi masofani optimallashtirish.// *Eurasian journal of academic research Innovative Academy Research Support Center*. Volume1 Issue01, April 2021.