



МОИСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ  
МАРКОВ

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКPERSONALIA

53(092)

## МОИСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ МАРКОВ

(К семидесятилетию со дня рождения)

13 мая 1978 г. Моисею Александровичу Маркову исполнилось 70 лет. 45 лет назад, в 1933 г., была опубликована его первая работа, которая явилась первым шагом на пути исследования им специфических свойств микромира. Этим исследованиям затем были отданы последующие 45 лет. В ходе своих работ М. А. Марков никогда не замыкался в рамках какого-нибудь одного узкого направления исследований. В разные годы своей научной деятельности он занимался задачами нерелятивистской квантовой механики и проблемами нелокальной теории поля, вопросами систематики элементарных частиц и нейтринной физикой, классической электродинамикой и (в последнее время) теорией гравитации. Но при всем разнообразии тем исследований неизменным для М. А. Маркова оставалось одно: стремление проникнуть в суть закономерностей, определяющих природу и свойства элементарных частиц.

Приводимый ниже краткий обзор основных работ М. А. Маркова имеет своей целью дать представление о характере и результатах исследований М. А. Маркова с начала его научной деятельности.

Первая работа М. А. Маркова<sup>1</sup> (1933 г.) относилась к новой тогда области квантовой химии. Она была посвящена рассмотрению квантомеханической стабильности молекулы бензола.

В последующих работах М. А. Маркова<sup>2, 3</sup> рассматривалось обобщение на случай орбитальных моментов оператора перестановок спинов  $\mathcal{F}_{12}^{\sigma} = (1 + \sigma_1\sigma_2)/2$ , где  $\sigma_1, \sigma_2$  — матрицы Паули.

В работе<sup>2</sup> (совместно с Ю. Б. Румером) был найден вид оператора перестановок для орбитальных моментов, представляемый полиномом по скалярному произведению орбитальных моментов атомов  $a$  и  $b$ :

$$\mathcal{F}^M = \sum_n \beta_n \theta^n, \quad \text{где } \theta = MaMb.$$

В дальнейшем (1935 г.) формализм оператора перестановок, развитый в<sup>2</sup>, был применен к вычислению уровней энергии сложных спектров<sup>3</sup>.

В работе 1936 г.<sup>4</sup> М. А. Марков впервые с помощью известных теорем Э. Нётер получил все законы сохранения в теории электрона Дирака.

В работе 1937 г.<sup>5</sup> М. А. Марковым были рассмотрены решения уравнения 2-го порядка для спинорного поля. Им было показано, что уравнение 2-го порядка описывает на равных началах как частицу с отрицательным зарядом и с положительной энергией, так и частицу с положительным зарядом и также с положительной энергией. Кроме того, для каждой из этих частиц имеется своя античастица. Причем, частицы разного знака заряда с положительной энергией не могут взаимно аннигилировать.

Позднее (1964 г.) М. А. Марковым было предложено<sup>6</sup> интерпретировать уравнение 2-го порядка для лептонного спинорного поля как уравнение, описывающее электрон и  $\mu$ -мезон, которые до включения всех взаимодействий имеют равные массы. Можно указать взаимодействия, которые снимают это вырождение и приводят к различию в значениях масс  $\mu$ -мезона и электрона.

Излагаемый формализм приводит к идее существования двух типов «родственных» полей Дирака, в частности двух типов нейтрино, и т. д.<sup>7, 8</sup>. Согласно этой идее других лептонов, кроме  $\mu, e, \nu_{\mu}, \nu_e$ , либо вообще не существует, либо они должны обладать дополнительными взаимодействиями<sup>8</sup> (с. 37). Существовало, что новые лептоны, в силу удвоения решений уравнения 2-го порядка по сравнению с обычным уравнением Дирака, должны появляться группами  $\mu', e'; \nu_{\mu}', \nu_e'$  и т. д., аналогичными группе  $\mu, e; \nu_{\mu}, \nu_e$ .

Большая серия работ М. А. Маркова, начиная с работы 1937 г. до работ последнего времени, посвящена анализу известной фундаментальной трудности теории поля, связанной с расходимостями. Это направление исследований в работах М. А. Маркова обычно связывается с направлением, определяемым в литературе термином «теория нелокальных полей». Между тем идеи М. А. Маркова, развивавшиеся им в связи с указанной проблемой, существенно отличны от других идей этого направления, которые, в сущности, объединяются попытками ввести в теорию объекты, обладающие размерами в буквальном смысле этого слова. В отличие от этого, М. А. Марков с самого начала предлагает в работе <sup>10</sup> (1937 г.) искать такой формализм, который автоматически налагал бы ограничения на само понятие поля в малых областях пространства и, следовательно, на возможность измерения поля в этих малых областях.

Эта идея получила известное завершение в формализме, предложенном М. А. Марковым в работе 1940 г. <sup>11</sup> (см. также <sup>12</sup>).

В этих работах предлагалось подчинить поле добавочным коммутационным соотношениям вида

$$\Phi_{\mu} x_{\nu} - x_{\nu} \Phi_{\mu} = i r_{\nu} \Phi_{\mu}, \quad (1)$$

где  $\Phi_{\mu}$  — векторное поле,  $r_{\nu}$  — некоторый постоянный вектор.

Это соотношение ведет к ограничению измеримости поля, причем вектор  $r_{\nu}$  является характеристикой тех расстояний, для которых обычные представления об измеримости полей становятся непригодными.

Позднее предложенный формализм получил своеобразное развитие в работах Юкавы, связанных с теорией так называемых бислокальных полей <sup>13, 14</sup>.

В последующих работах как Юкавы, так и М. А. Маркова развивались варианты подобных теорий с внутренними степенями свободы элементарных частиц. В частности, детально исследовалось описание внутренних степеней свободы на основе модели четырехмерного осциллятора. При этом М. А. Марков нашел дополнительное условие, которое вело к снятию вырождения энергетических уровней четырехмерного осциллятора и, в отличие от имевшихся в литературе, было совместно со всеми основными уравнениями данного формализма <sup>15, 16</sup>.

В ряде работ М. А. Маркова начала 50-х годов модель четырехмерного осциллятора используется при трактовке гиперонов как возбужденных состояний нуклонов <sup>18</sup>. Такое представление о гиперонах, связанное с введением внутренних степеней свободы, логически опиралось на идею М. А. Маркова о так называемом «динамически деформируемом формфакторе», высказанную им в эти годы (см. <sup>15-17</sup>).

Обычно вводимые в теорию недеформируемые жесткие формфакторы частиц приходят в прямое противоречие с конечной скоростью распространения сигнала в области, занимаемой частицей. Эта трудность была подробно исследована в более ранних работах М. А. Маркова, суммированных в его докторской диссертации <sup>19</sup> (1943 г.) (см. также <sup>20</sup>).

Между тем динамически деформируемые формфакторы свободны от указанной трудности. Опираясь на предположение о наличии возбужденных состояний нуклонов и привлекая идеи Ферми — Янга о нуклон-антинуклонных системах, М. А. Марков в 1955 г. строит систематику мезонов и гиперонов <sup>21</sup>, в ряде отношений превосходящая идеи модели Сакаты (1956 г.).

В своей известной работе <sup>22</sup> Саката, ссылаясь на <sup>21</sup>, писал: «Markov proposed also a composite model which is very similar to ours».

Интересно отметить, что, исходя из представления о  $\Lambda$ -гипероне как возбужденном нуклоне, М. А. Марков (совместно с В. Стахановым) в 1955 г. впервые указал на возможность  $\beta$ -распада  $\Lambda$ -гиперона и дал оценку вероятности этого распада <sup>23</sup>.

Следует также обратить внимание на то, что М. А. Марковым был впервые поставлен вопрос о роли взаимодействия нуклонов в конечном состоянии в эффекте рождения  $\pi^0$ -мезонов при столкновении протона и нейтрона с образованием дейтона (1950 г.) <sup>24</sup>.

В монографии «Гипероны и К-мезоны» <sup>18</sup>, вышедшей в 1958 г., М. А. Марков критически анализирует данные об элементарных частицах, известные к середине 50-х годов, и поднимает ряд важных вопросов об их природе и свойствах. Эта монография, написанная к моменту запуска дубненского синхрофазотрона на 10 Гэв (1957 г.), сыграла важную роль в выработке программы исследований на этом ускорителе, в обосновании создания которого М. А. Марков принимал ранее деятельное участие.

Значительное место в работах М. А. Маркова занимают проблемы нейтринной физики. Основные результаты этих работ суммированы в его монографии «Нейтрино» <sup>8</sup>.

В 1958 г. в Московском государственном университете по предложению и под руководством М. А. Маркова было проведено исследование возможностей экспериментального изучения взаимодействия нейтрино с веществом, нашедшее отражение в двух дипломных работах: И. М. Железных «О взаимодействии нейтрино больших энергий в космических лучах с веществом» (см. <sup>25, 26</sup>) и Д. Г. Факирова «О возможности исследования взаимодействия нейтрино большой энергии с веществом на ускорителях» (см. <sup>18б, 25, 27</sup>).

В работе <sup>26</sup> на основе проведенных оценок был сделан вывод, что эксперимент по детектированию космических нейтрино осуществим, если линейный рост с энергией сечения взаимодействия нейтрино с нуклоном будет продолжаться до энергий  $E_\nu \sim 10^{11}$  эв.

В то время существовало убеждение, что сильные взаимодействия (формфакторы нуклонов) обрежут линейный рост сечений слабых взаимодействий уже при энергиях порядка одного гигаэлектрон-вольта, а поскольку с энергией интенсивность космических нейтрино падает, эффект будет ненаблюдаемо мал. Вопреки общепринятым мнениям, М. А. Марков выдвигает положение <sup>8, 9</sup>, что сильные взаимодействия обрезают лишь упругие процессы. Он пишет: «Не исключено, что большое количество новых каналов, возникающих с ростом энергии нейтрино, вносит столь существенный вклад в полное сечение, что этот эффект в целом может линейно расти до значений, близких к критическим» (см. <sup>8</sup>, с. 81; <sup>9</sup>, с. 110).

На семинаре ЦЕРН — ОИЯИ по перспективам физики высоких энергий (Рига, июнь 1967 г.) М. А. Марковым была сформулирована гипотеза <sup>28</sup>, согласно которой полные сечения взаимодействия лептонов с адронами при стремлении энергии лептонов к бесконечности равны или даже больше сечений для взаимодействия с точечными адронами. В докладе рекомендовалось провести соответствующие эксперименты, в частности по неупругому рассеянию электронов на нуклонах. Подобные эксперименты были проведены в 1968 г. на линейном ускорителе электронов в Стэнфорде и подтвердили соображения М. А. Маркова о поведении полных сечений взаимодействия электронов с нуклонами.

Указанная совокупность работ М. А. Маркова инициировала проведение экспериментов с космическими нейтрино в шахтах Индии и Южной Африки и послужила основой для развертывания строительства подземной нейтринной станции глубокого заложения на Кавказе.

В это же время (1960 г.) М. А. Марковым была высказана идея использования больших масс воды в качестве крупномасштабного детектора нейтринных взаимодействий с регистрацией акта взаимодействия по черенковскому излучению вторичных частиц <sup>25</sup>. Сравнительно недавно эта идея была возрождена и стала популярной в рамках проекта DUMAND. Предложения же о проведении нейтринных экспериментов на ускорителях, однако, остались мало известными.

В других работах этого периода М. А. Марков, анализируя различного рода эмпирически найденные запреты на слабые распады элементарных частиц, приходит к выводу, что «наряду с нейтрино  $\nu$  необходимо ввести другое нейтрино  $\nu' \equiv \chi$  с другим «странным числом» (см. <sup>18a</sup>, с. 295). В 1962 г. наличие двух типов нейтрино было доказано экспериментально.

В предисловии к монографии «Нейтрино» 15 лет назад М. А. Марков настоятельно подчеркивал роль нейтринных процессов в астрофизике: «Есть основание полагать, что ряд астрофизических проблем может найти свое решение при дальнейшем изучении закономерностей нейтринной физики. Не исключено, что нейтринные процессы имеют существенное значение для космологии и космогонии. Нейтринная астрономия может стать делом не такого уж далекого будущего...».

Анализируя астрофизические проявления существования нейтрино, М. А. Марков обратил внимание на то, что если бы нейтрино обладало собственной массой, отличной от нуля, то вокруг массивных небесных тел возникала бы своеобразная нейтринная атмосфера <sup>29</sup>. Наряду с этим было бы возможно образование специфических нейтринных звезд с массой порядка  $(m_N/m_\nu)^2 M_\odot$  <sup>30</sup>.

Эти идеи могли бы быть распространены и на тяжелые нейтрино новых типов, если некоторые из них окажутся стабильными.

Заслуживает внимания цикл работ М. А. Маркова, который посвящен рассмотрению классических аналогов формализма квантовой теории. М. А. Марковым в рамках теории Гамильтона — Якоби в классической электродинамике был развит метод теории возмущений, основанный на разложении действия  $S$  по степеням электрического заряда <sup>31</sup> (1948 г.).

Классическая теория возмущения была применена для вычисления поперечной и продольной собственной энергии электрона <sup>31, 32</sup> для получения классического аналога формулы Мёллера <sup>31</sup> и для рассмотрения ряда других задач.

В работе <sup>33</sup> (1946 г.) М. А. Марков анализирует трудности, которые обсуждались в то время в связи с наличием в уравнении  $m\ddot{x} - (2e^2/3c^3)\ddot{\ddot{x}} = F$  третьей производной по времени. В работе <sup>33</sup> показано, что на самом деле уравнение выводится только для положительных времен и при корректном рассмотрении нет так называемых «нарастающих» решений.

В работе <sup>34</sup> (1941 г.) М. А. Марковым был развит классический аналог известного многовременного формализма Дирака — Фока — Подольского. В работе показано, что этот последовательный релятивистски инвариантный формализм для проблемы многих тел не имеет какой-либо квантовомеханической специфики и полностью может быть перенесен в классику.

В ходе своих работ М. А. Марков периодически возвращается к исследованию фундаментальных трудностей теории поля, связанных с расходимостями. Еще в докторской диссертации М. А. Маркова<sup>19</sup>, как возможный выход из трудностей, рассматривалась идея введения в теорию нелинейных взаимодействий. Именно, было предложено заменить лагранжиан взаимодействия  $\mathcal{L}_{\text{вз}} = ie\bar{\psi}\gamma_{\mu}\psi A_{\mu}$  на лагранжиан вида

$$\mathcal{L}_{\text{вз}} = b \left[ \exp \left( \frac{ie\bar{\psi}\gamma_{\mu}\psi A_{\mu}}{b} \right) - 1 \right], \quad (2)$$

где  $b$  — некоторая константа.

Первый член разложения (2) по  $e$  дает, очевидно, обычное выражение для электродинамического лагранжиана взаимодействия. Нелинейные взаимодействия впоследствии стали объектом исследования многих авторов.

В работе<sup>35</sup> была сделана попытка видоизменить функции распространения в теории поля, сместив их особенности со светового конуса на гиперboloид, но не в пространственном, а во временном направлении, т. е. заменой  $\bar{x}^2 - x_0^2$  на  $\bar{x}^2 - x_0^2 + a^2$ , где  $a$  — константа. Такая замена, как было выяснено в<sup>36</sup> М. А. Марковым (совместно с А. А. Комаром), однако, не спасает в рамках традиционной схемы полевой теории от сигналов, распространяющихся со скоростью, большей скорости света. Тем не менее функции распространения с подобными особенностями в настоящее время рассматриваются в рамках совершенно иных подходов.

Следует заметить, что в поисках решения проблемы расходимостей М. А. Марков еще в 1947 г. связывал серьезные надежды с возможной ролью гравитации. В работе<sup>37</sup> в 1947 г. он писал: «...Гравитационные эффекты должны быть приняты во внимание последовательным образом и могут оказаться решающими для обсуждаемых трудностей».

Работой<sup>38</sup> (1965 г.) открывается серия исследований М. А. Маркова, нацеленная на выяснение возможного влияния гравитации на свойства микроскопических объектов. В работе<sup>38</sup> он указывает, что учет гравитации ограничивает сверху возможные массы различных элементарных образований, в частности структурных единиц адронов, если считать последние очень тяжелыми. Различные соображения с использованием гравитационной постоянной  $\kappa$  приводит М. А. Маркова к серии предельных значений масс на уровне  $10^{-5} - 10^{-6}$  г:

$$m_e = \frac{e}{\sqrt{\kappa}} \approx 10^{-6} \text{ г}, \quad m_g = \frac{g}{\sqrt{\kappa}} \approx 10^{-5} \text{ г}, \quad m_h = \sqrt{\frac{\hbar c}{\kappa}} \approx 10^{-5} \text{ г}. \quad (3)$$

Частицы подобных максимально больших масс были названы им «максимонами»<sup>38, 39, 42</sup>.

Связанные системы максимонов, если бы они реализовались, обладали бы (в силу малого «боровского» радиуса) грандиозным дефектом масс ( $\sim m_h$ ) и в принципе могли бы приводить к образованиям с массами, близкими к массам нуклонов. Можно было бы предположить, например, что максимоны выступают в роли кварков.

М. А. Марков обращает также внимание<sup>38</sup> на то, что если максимоны не являются частицами типа кварков, т. е. если они, как элементарные частицы, существуют сами по себе, то даже очень малая плотность «реликтовых» максимонов порядка  $10^{-24}$  частиц/см<sup>3</sup> при условии, что они устойчивы, могла бы увеличить среднюю плотность нашей Вселенной до  $10^{-29}$  г/см<sup>3</sup>, т. е. в этом случае Вселенная представляла бы собой замкнутый мир Фридмана. При этом взаимодействие даже заряженных максимонов с веществом так слабо (см.<sup>38, 39</sup>), что Вселенная в значительной мере состояла бы из объектов, ускользающих от наблюдения.

В ряде работ<sup>40, 41, 43</sup> М. А. Марков анализирует вопрос о собственной энергии протяженных источников гравитационного поля, рассматривая их с позиций замкнутых или полужамкнутых миров Фридмана. Подобное рассмотрение позволяет сделать вывод, что полная масса электрически нейтрального протяженного источника гравитационного поля при стремлении его размеров к нулю обращается в нуль (мир замыкается). В то же время для электрически заряженного источника гравитационного поля заряда  $q$  масса конечна и равна  $q/\sqrt{\kappa}$ , внешние его размеры также конечны и равны  $q\sqrt{\kappa}/c^2$  (мир слегка разомкнут). Таким образом, при учете гравитации проблема расходимости собственной энергии в классическом рассмотрении исчезает. Классические заряженные системы, которые при  $q \rightarrow 0$  становятся замкнутыми мирами Фридмана, М. А. Марков назвал «фридмонами»<sup>45</sup> (1969 г.). Фридмоны для внешнего наблюдателя выступают как некоторые элементарные образования с малой массой и очень малыми, но конечными размерами (при  $q = e$  размеры  $\sim 10^{-34}$  см).

Более того, в работе М. А. Маркова и В. П. Фролова<sup>44</sup> (1972 г.) обращено внимание на то, что в ОТО принципиально нельзя получить точечный заряженный источник гравитационного поля, т. е. классическое (неквантованное) гравитационное поле оказывается нелокальным.

В другой работе М. А. Маркова и В. П. Фролова<sup>43</sup> показано, что при заряде фридмона  $q$ , значительно большем, чем заряд электрона, огромное электростатическое поле фридмона ведет к рождению электронно-позитронных пар, следствием чего является уменьшение заряда и массы системы.

Классический фридмон представляет собой классическую заряженную черную дыру. Таким образом, в работе<sup>43</sup> (1970 г.) по существу впервые указано на возможность квантового распада заряженной черной дыры, т. е. на возможность квантового нарушения ранее полученной теоремы Хокинга, из которой следовал запрет на уменьшение массы черной дыры.

В докладе М. А. Маркова 1973 г. на юбилейных торжествах в Варшаве, посвященных Копернику<sup>46</sup>, была дана наглядная интерпретация возможности квантовых нарушений теоремы Хокинга, а именно, было указано, что в этих случаях противоположно заряженные частицы рожденной пары возникают по разные стороны поверхности Шварцшильда. Соображения Хокинга о квантовой неустойчивости черных дыр, к которым он пришел позднее (1974 г.), носят несколько иной характер и при наличии заряда имеют отношение к дырам, масса которых  $M > q/\sqrt{\kappa}$ . Фридмоны с массой  $M = q/\sqrt{\kappa}$  уменьшают свою массу только за счет процесса рождения пар в кулоновском поле заряда  $q$ , рассмотренного в<sup>43</sup>.

В настоящее время М. А. Марков продолжает работу по изучению следствий для космологии и теории элементарных частиц, вытекающих из квантования гравитационного поля, в которой хочется пожелать ему больших успехов.

Заключим данный обзор краткими биографическими сведениями о М. А. Маркове.

М. А. Марков родился в 1908 г. в селе Мальшино Рассказовской волости бывш. Тамбовской губернии. Его отец, Александр Родионович Марков, был первым председателем сельского совета в этом селе. Его мать, Марья Васильевна Маркова (Устинова).

Образование М. А. Маркова началось в сельской церковно-приходской школе и было продолжено в 1922 г. в средней школе в Москве. После окончания средней школы М. А. Марков в 1926 г. поступает на физический факультет МГУ. После окончания МГУ (1930 г.) работает в НИИФ МГУ, а с 1934 г. по настоящее время является сотрудником Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР.

В 1953 г. М. А. Марков был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР, а в 1966 г. ее действительным членом. С 1967 г. М. А. Марков работает в качестве академика-секретаря Отделения ядерной физики АН СССР.

*А. М. Балдин, А. А. Комар*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. Марков, *J. Chem. Phys.* 1, 784 (1933).
2. М. Марков, G. R u m m e r, *Acta Physiochim. USSR* 1, 56 (1934).
3. М. А. Марков, *ЖЭТФ* 5, 478 (1935).
4. М. Марков, *Phys. Zs. Sowjetunion* 10, 773 (1936).
5. М. Марков, *ibid.* 11, 284 (1937).
6. М. Марков, *Nucl. Phys.* 55, 130 (1964).
7. М. А. Марков, в кн. Труды семинара по  $\mu - e$ -проблеме, М., «Наука», 1974, с. 124.
8. М. А. Марков, *Нейтрино*, М., «Наука», 1964.
9. М. Марков, Preprint JINR D-1269, Dubna, 1963.
10. М. Марков, *Phys. Zs. Sowjetunion* 12, 105 (1937).
11. М. Марков, *J. Phys. USSR* 2, 453 (1940).
12. М. А. Марков, *ЖЭТФ* 10, 1311 (1940).
13. Н. Y u k a w a, *Prog. Theor. Phys.* 2, 209 (1947).
14. Н. Y u k a w a, *Phys. Rev.* 77, 219 (1949).
15. М. Марков, *Nuovo Cimento, Suppl.* 3, 760 (1956).
16. М. А. Марков, *ДАН СССР* 101, 51 (1955).
17. М. А. Марков, *УФН* 51, 317 (1953).
18. М. А. Марков: а) Гипероны и  $K$ -мезоны, М., Физматгиз, 1958; б) *Hyperonen und K-mezonen*, Berlin, VEB Deutschen Verlag der Wissenschaften, 1960.
19. М. А. Марков, Докторская диссертация, М., ФИАН СССР, 1943.
20. М. А. Марков, *ЖЭТФ* 16, 790 (1946).
21. М. А. Марков, *On the Classification of Fundamental Particles*, Academy of Sciences of the USSR, Moscow, 1955.
22. S. S a k a t a, *Prog. Theor. Phys.* 16, 686 (1956).
23. М. А. Марков, В. Стаханов, *ЖЭТФ* 28, 740 (1955).
24. М. А. Марков, *ДАН СССР* 75, 655 (1950).

25. M. A. Markov, in: Proc. of the 1960 Annual Intern. Conference on High-Energy Physics, Rochester, 1960, p. 578.
26. M. A. Markov, I. M. Zhelezhyk, Nucl. Phys. 27, 385 (1961).
27. D. Fakirov, Fac. des Sciences de Sofia, v. 2 (1958/1959).
28. M. A. Markov, Preprint JINR E2-4370, Dubna, 1967.
29. M. A. Markov, Preprint JINR E-1752, Dubna, 1964.
30. M. A. Markov, Phys. Lett. 10, 122 (1964).
31. M. A. Марков, ЖЭТФ 18, 510 (1948).
32. M. A. Марков, ЖЭТФ 18, 1130 (1948).
33. M. A. Марков, ЖЭТФ 16, 800 (1946).
34. M. A. Марков, J. Phys. USSR 7, 42 (1943).
35. M. A. Марков, Nucl. Phys. 10, 140 (1959).
36. A. A. Комар, M. A. Марков, Nucl. Phys. 12, 190 (1959).
37. M. A. Марков, ЖЭТФ 17, 661 (1947).
38. M. A. Марков, Suppl. Prog. Theor. Phys.— Commemoration Issue for the 30th Anniversary of the Meson Theory by Dr. H. Yukawa, 1965, p. 85.
39. M. A. Марков, ЖЭТФ 51, 878 (1966).
40. M. A. Марков, в кн. Физика высоких энергий и теория элементарных частиц, Киев, «Наукова думка», 1967, с. 671.
41. M. A. Марков, in: Proc. of the Intern. Seminar on Elementary Particle Theory, Varna, Bulgaria, May 6—19, 1968.
42. M. A. Марков, О природе материи, М., «Наука», 1976, с. 151.
43. M. A. Марков, В. П. Фролов, ТМФ 13, 3 (1972).
44. M. A. Марков, В. П. Фролов, ТМФ 13, 41 (1972).
45. M. A. Марков, Препринт ОИЯИ Д2—4534, Дубна, 1969.
46. M. A. Марков, On Black and White Holes. Gravitational Radiational and Gravitational Collapse, 1974, p. 106 (with De Witt-Morette).