

## ШТРИХИ К ПОРТРЕТУ УЧЕНОГО

*В. М. Жабицкий*<sup>1</sup>

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Статья посвящена памяти известного российского ученого, ведущего специалиста в области физики и техники ускорителей профессора В. П. Саранцева.

The paper is dedicated to the memory of a well-known Russian scientist, a leading expert in the field of physics and technology of accelerators, Professor V. P. Sarantsev.

PACS: 01.60.+q; 29.17.+w

### ПРЕДИСЛОВИЕ

Имя Владислава Павловича Саранцева прекрасно известно среди физиков, работающих на ускорителях заряженных частиц. Его постоянное стремление к совершенствованию ускорителей, дерзновенность замыслов завораживали. При разговоре с ним казалось, что все очень просто. Надо только настойчиво работать. Согласиться с моим утверждением, уверен, могут все, кому приходилось хоть однажды контактировать с Владиславом Павловичем, или, как мы его часто между собой называли, — с В. П.

Мой доклад сегодня, 23 сентября 2022 г., совпал с днем рождения Саранцева, а не стало его среди нас 31 января 1995 г. [1, 2]. Прожил до обидного короткую, но такую яркую жизнь! В память о В. П. Саранцеве в подразделении ОИЯИ, которое он создал и возглавлял, установлена мемориальная доска: «Здесь с 1971 по 1995 год работал выдающийся ученый в области физики и техники ускорителей профессор Владислав Павлович САРАНЦЕВ» [3].

Решил рассказать о сохранившихся в моей памяти встречах, обсуждениях, совместных с В. П. Саранцевым делах. Помощниками в моем повествовании стали многие мои коллеги, которые работали вместе с Владиславом Павловичем. Я также стремился воспроизвести некоторые материалы научных публикаций Саранцева, архивные документы ОИЯИ и публикации на интернет-порталах, которые, на мой взгляд, помогут читателям этого сообщения сформировать собственное представление о замечательном человеке — В. П. Саранцеве. Издана прекрасная книга «Владислав Павлович Саранцев: Жизнь, отданная науке» [1]. На интернет-портале ОИЯИ «Выдающиеся ученые» [2] в портретной галерее приведена ссылка на сайт [www.sarantsev.ru](http://www.sarantsev.ru).

С 1995 г. регулярно проводится мемориальный семинар по проблемам ускорителей памяти В. П. Саранцева. Отмечу определяющую роль Игоря Николаевича Иванова —

---

<sup>1</sup>E-mail: V.Zhabitsky@jinr.ru

зам. директора Лаборатории физики частиц ОИЯИ в 1995–2004 гг. — в организации, проведении и издании научных трудов первых семинаров [4–7]. Алексей Нораирович Сисакян, вице-директор ОИЯИ в те годы, регулярно приветствовал участников семинаров, отмечая выдающийся вклад В. П. Саранцева «как специалиста в области ускорительной физики, как человека, отдавшего всю свою жизнь Объединенному институту». С 2003 г. организационную работу по проведению мемориальных семинаров успешно вел Игорь Николаевич Мешков. Поддержание традиций семинара обеспечивали Григорий Дмитриевич Ширков и Анатолий Павлович Сумбаев. Труды 5-го и последующих семинаров опубликованы в журнале «Письма в ЭЧАЯ» [8–16].

### ФРАГМЕНТЫ БИОГРАФИИ

**1930–1948 гг.** Владислав Павлович Саранцев родился в Саратове. В 1932 г. семья переехала в Сталинград. В огне войны прошло его отрочество. Мой старший коллега по работе Юрий Леонидович Обухов в стихотворной форме просто и доходчиво пояснял [17]:

Как все мальчишки в Сталинграде,  
Он жил в кругу своих ребят —  
Давно привыкли к канонаде,  
Порой гостили у солдат.

Война играет не в игрушки,  
Война одна для всех беда. . .

Суровость пережитых военных событий наложила отпечаток на последующие годы жизни Владислава Павловича. У него были доверительные отношения с ветеранами войны. Он был неизменным участником встреч ветеранов, которые часто просили Саранцева почитать стихи. Возможно, что он читал свои любимые:

Ты помнишь, Алеша, дороги Смоленщины,  
Как шли бесконечные, злые дожди. . .

Автор этих строк — поэт, военный корреспондент К. М. Симонов [18]. Стихи были написаны в 1941 г. и посвящены замечательному русскому поэту А. А. Суркову [19].

**Студенческие годы.** В 1948 г. Владислав Павлович стал студентом физфака Московского государственного университета. Летом 1952 г. Саранцев был на преддипломной практике среди участников высокогорной экспедиции на Памире, изучавшей широкие атмосферные ливни [20]. В студенческие годы произошла определившая судьбу Владислава Павловича встреча с академиком Векслером: «Слава Саранцев еще студентом сроднился с ФИАНом, попал в коллектив, душой которого был В. И. Векслер, у которого он многому научился» [21]. Закономерно, что и свой выбор Владислав Павлович связал с ускорителями. Он отстаивал свое стремление быть среди специалистов Электрофизической лаборатории, в которой вблизи поселка Большая Волга шло сооружение ускорителя протонов — синхрофазотрона на энергию 10 ГэВ [22, 23].

**Участие в работах по сооружению синхрофазотрона.** После завершения учебы в МГУ по специальности «Ядерная физика» В. П. Саранцев стал участником сооружения самого крупного в то время ускорителя — синхрофазотрона на 10 ГэВ. Вот как

вспоминал в 1988 г. об этом Владислав Павлович: «Я приехал в Дубну после окончания МГУ, когда здесь только шло строительство Электрофизической лаборатории АН СССР. Это было в 1953 году. И мне, признаться, до сих пор непонятно, как тогда В. И. Векслер мог фактически все поставить на молодежь» [24].

Алексей Борисович Кузнецов, участник работ по запуску синхрофазотрона, вспоминал об этом так: «Владимир Иосифович Векслер сформировал под общим руководством Леонида Петровича Зиновьева три смены, которые обеспечивали этот ответственный этап работы, — она велась практически круглосуточно. Старшими смен Векслер назначил Славу Саранцева, Сергея Есина и Кирилла Мызникова. В качестве сменных теоретиков должны были выступать Коля Рубин, Владлен Котов и я. Для обсуждения глобальных вопросов пуска ускорителя из ФИАНа приезжали ⟨...⟩ Матвей Самсонович Рабинович и Андрей Александрович Коломенский...» [25].

В 1957 г. на синхрофазотроне под руководством В. И. Векслера и Л. П. Зиновьева была достигнута проектная энергия протонов 10 ГэВ [26].

В 1957–1961 гг. Саранцев руководил созданием и запуском нового инжектора для синхрофазотрона — линейного ускорителя протонов [27].

В 1962 г. защитил кандидатскую диссертацию по работам, связанным с созданием нового инжектора [28].

**Ускорение ионов электронными кольцами.** На конференции по ускорителям заряженных частиц [29, 30], состоявшейся в 1956 г. в ЦЕРН, советские физики Г. И. Будкер [31], А. А. Наумов [32], В. И. Векслер [33] и Я. Б. Файнберг [34] представили доклады, в которых предлагалось для эффективного ускорения ионов использовать собственные поля сгустков или потоков заряженных частиц. В. И. Векслер изложил новые принципы ускорения заряженных частиц [35]: ускорение на обращенном эффекте Вавилова–Черенкова, радиационное ускорение, ударное ускорение. Новые методы получили название *коллективные методы ускорения* [36].

*Начало работ.* Работы по коллективному методу ускорения протонов электронными кольцами были начаты в ОИЯИ в 1962 г. Руководителем небольшой группы специалистов Векслер выбрал Саранцева. Участник работ по запуску синхрофазотрона С. К. Есин [37] так обосновывал этот выбор: «В. П. среди нас имел наибольшее право называться исследователем и ученым. Когда запуск синхрофазотрона был завершен, я стремился найти другое место работы, где мог бы создавать новый прибор, а не просто эксплуатировать старый. Мне была предложена работа в Ереване, где создавался электронный синхротрон. И в момент, когда это должно было свершиться, В. И. Векслер предложил мне заняться электронными кольцами. Я, видимо, не был рожден «исследователем до корней волос», меня это предложение испугало. А Владислав Павлович оказался храбрее и взял на себя этот тяжелейший груз...» [38].

*Конференции в Кембридже.* Первое сообщение [39] о теоретических и экспериментальных результатах, полученных в Дубне, было сделано на международной конференции по ускорителям (Кембридж, США) в сентябре 1967 г. Вот как это сообщение было отражено в журнале «CERN Courier» [40]:

### **Smokatron**

The most interesting development in accelerator technology came from Dubna, USSR, in a report concerning a “collective ion accelerator”. ⟨...⟩ The project was initiated by the late V. I. Veksler.

Так случилось, что делал доклад и отвечал на три заданных вопроса А. А. Коломенский [41]. «Надо же было ухитриться из-за каких-то нелепостей опоздать на собственный доклад — гвоздь престижной международной конференции, наделавший шума не меньше, чем первоначальные идеи В. И. Векслера» [42].

В докладе было приведено описание установки: источник электронов с большим током (линейный индукционный ускоритель ЛИУ-3000), камера для формирования компактного кольцевого электронного сгустка (адиабатический генератор заряженных тороидов — адгезатор), нагрузка кольца ионами (равновесный пучок Беннета–Будкера), вывод кольцевого электрон-ионного сгустка из адгезатора и ускорение ионов в электронном кольце в ускоряющей секции. В подтверждение — фотографии ЛИУ-3000 (первого в СССР линейного индукционного ускорителя электронов с энергией 3 МэВ с импульсным током 100 А и длительностью 250 нс), адгезатора и ускоряющей секции [39].

В Дубне «впервые (по крайней мере, в открытой литературе) в качестве инжектора был использован линейный бетатрон (...). Достигнутые на этапе формирования кольца результаты оказались весьма внушительными — на уровне нескольких десятков нанокulon в сгустке. . . » [43].

В феврале 1968 г. в Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоуренса был организован «Symposium on Electron Ring Accelerators», итоги которого, представленные на LINAC1968, вызвали оживленную дискуссию [44].

После триумфального доклада в Кембридже в лабораториях СССР, США, ФРГ, Франции, Японии были созданы группы для изучения коллективного метода ускорения: «... велась напряженная работа по поискам конкретных схем для осуществления коллективного метода ускорения. Наиболее упорно поиски велись под руководством В. И. Векслера в лаборатории ОИЯИ, которую после безвременной кончины В. И. Векслера возглавил В. П. Саранцев» [36].

В 1969 г. В. П. Саранцев защитил докторскую диссертацию по физическим основам коллективного метода ускорения ионов электронными кольцами.

*Коллективное ускорение ионов электронными кольцами в ОИЯИ.* Первые исследования по коллективному ускорению ионов электронными кольцами были проведены в ОИЯИ на модели коллективного ускорителя [45]. В марте 1967 г. был осуществлен захват электронного пучка после инжекции в адгезатор. Кольцо с током 100 А сжималось до радиуса 6 см. В марте 1969 г. кольцо было ускорено в спадающем магнитном поле и был зафиксирован снимок выведенного кольца. В октябре 1969 г. на Международной конференции по ускорителям в Ереване было доложено об ускорении ионов азота [46]. В 1970 г. на модели коллективного ускорителя были проведены эксперименты по ускорению альфа-частиц коллективным методом [47].

В 1970 г. в журнале «ЭЧАЯ» Саранцев совместно с коллегами опубликовал подробную статью «Коллективное ускорение ионов» [48].

В 1973 г. была опубликована статья [49] об ограничениях метода ускорения протонов электронными кольцами. На модели коллективного ускорителя ОИЯИ были проведены исследования систем инжекции электронов в адгезатор [50]. Было установлено, что величина циркулирующего тока долгоживущих электронов не превосходила 120 А. Это было обусловлено влиянием коллективных эффектов на процесс захвата электронов после инжекции и их удержания в кольце. В связи с выводами

этих статей дальнейшие работы осуществлялись в рамках метода ускорения ионов электронными кольцами.

В Отделе новых методов ускорения (ОНМУ) был разработан и создан прототип коллективного ускорителя тяжелых ионов КУТИ [51]. Были проведены эксперименты по ускорению ионов [52]. Сечение электронного кольца наблюдалось в видимом синхротронном свете [53]. Было установлено, что коллективное ускорение ионов возможно при достаточно большом факторе загрузки кольца ионами, так что ускоренные ионы наблюдались в узком интервале значений давления остаточного газа (накопление ионов в кольце происходило из остаточного газа). Набор энергии ускоренных ионов составлял 4 МэВ/нуклон·м. Интенсивность ионов была примерно  $(2-5) \cdot 10^{11}$  в одном электронном кольце.

В первой половине 1980-х гг. были запущены СИЛУНД-20 — сильноточный индукционный линейный ускоритель наносекундного диапазона (электроны:  $W = 2,5$  МэВ,  $I = 800$  А,  $\tau = 30$  нс) и адгезатор-20, работавшие с частотой повторения циклов 20 Гц [54].

Выполнены работы по созданию секций, предназначенных для ускорения выведенных из адгезатора колец, линейного ускорителя электронных колец ЛУЭК-20. Была успешно реализована схема с применением нелинейных каскадов усиления импульсной мощности путем сжатия электромагнитной энергии по времени. Проведены эксперименты, подтвердившие работоспособность одной секции ЛУЭК-20 с трубчатым электронным пучком [55].

В 1979 г. вышла в свет монография В. П. Саранцева и Э. А. Перельштейна «Коллективное ускорение ионов электронными кольцами» [56].

Работоспособность коллективного метода ускорения ионов электронными кольцами была экспериментально продемонстрирована в ОНМУ ОИЯИ (см. статью [57] в книге о Векслере [22]) и в Институте физики им. М. Планка (ФРГ) [58].

«Успех идей В. И. Векслера вызвал психологический перелом в научном общественном мнении и привлек к этой проблеме большое количество ученых. (...) Произошел пересмотр взглядов и на другие работы по коллективным методам» [36].

**Отдел Саранцева.** Так получилось, что название подразделения, руководителем или заместителем руководителя которого был В. П. Саранцев, неоднократно изменялось. Однако в сообществе физиков-ускорительщиков это подразделение было известно как *Отдел Саранцева* [43].

Сотрудники, которые работали в тесном контакте с В. П. Саранцевым, уверен, хорошо помнят его подходы при выполнении проектов. Владислав Павлович всегда стремился вникнуть в существо решаемой проблемы, заряжая при этом всех убежденностью в ее выполнении. Обладая обширными теоретическими знаниями по широкому кругу задач в области ускорительной техники, поразительными знаниями деталей их экспериментальной реализации, он удивительно легко вычленял главный аспект решаемой задачи, требуя ясного и качественного ее объяснения на базе простых и легко воспринимаемых теоретических выкладок. Выбор пути решения проблемы во многом зависит от глубины замысла и последовательности усилий по преодолению неизбежных препятствий при реализации проекта. «Однако делать то, в чем в данный момент он сам сомневался, Саранцев не запрещал. Махнув рукой, он бросал нам [сотрудникам]: “А, делайте, что хотите...”» [67]. Но призывал всегда помнить о конечной цели и не забывать о замысле. Владислав Павлович четко отслеживал,

не отклонились ли исполнители от его задания. Это очень надежный путь достижения конечного результата. Многие мои коллеги и сейчас следуют этому подходу Саранцева.

Отдел, который он создал в ОИЯИ и постоянно совершенствовал, был хорошо известен в мировом сообществе физиков новизной и дерзостью реализуемых методов в различных задачах по физике и технике ускорителей заряженных частиц. Генератором идей был В. П. Саранцев. Он настойчиво следовал замыслам своего учителя В. И. Векслера.

*Подбор кадров.* Ближайшими помощниками Владислава Павловича были, прежде всего, высококвалифицированные коллеги, работавшие вместе с ним на синхрофазотроне ОИЯИ. Он очень ценил своих ближайших товарищей. Во многом благодаря им сумел в короткое время создать коллектив специалистов-единомышленников по вере в конечный успех. Поручая кому-либо работы по реализации новых систем, он был уверен, что коллеги не подведут. И очень переживал, когда что-то не получалось. Мне он говорил о таких событиях как о своих личных чрезмерных надеждах при подборе кадров. И в назидание мне указывал, что каждый ответственный исполнитель должен делать то дело, к которому предрасположен. Есть ученые с искрой божьей, есть мастера золотые руки, есть эффективные организаторы. Каждый должен делать свое дело. Владислав Павлович сожалел, что иногда его выбор лидера приводил к внутреннему конфликту у преданных ему товарищей при выполнении доверенного дела. В результате руководитель «сгорал на работе». Я знал о таких переживаниях Владислава Павловича от него самого. Он относил эти неудачи прежде всего к себе. Был очень мужественным человеком.

*Научно-производственные подразделения.* Владислав Павлович отлично понимал, что создание новейших систем возможно при применении прогрессивных методов конструирования и самых передовых технологий. В ОИЯИ и за его пределами экспериментальные производственные мастерские ОНМУ были хорошо известны. Эти подразделения совместно со специалистами конструкторского бюро могли быстро и качественно проектировать и создавать нестандартное оборудование. Причем как для ускорителей заряженных частиц, так и для детекторов частиц в экспериментальных физических проектах. Примечательно, что при обсуждении задач, которые мечтали осуществить физики, не возникало вопроса, можно ли на практике сделать то, что задумано. Владислав Павлович считал, что если науке надо, то решение должно быть найдено. Уверенность в том, что «прыгать все выше и выше» не только необходимо, но и возможно, становилась практическим стимулом в работе.

*Постоянное внимание к каждому сотруднику.* Владислав Павлович Саранцев считал, что творцами новых свершений являются конкретные люди. Находил время, хоть минуту, чтобы переговорить с сотрудниками своего коллектива. Даже личные проблемы многих членов коллектива ему были известны. Меня всегда поражало умение Саранцева быстро вникнуть в суть обсуждения, умение услышать коллегу. В моей памяти В. П. Саранцев — это сочетание редкого таланта и исключительных душевных качеств, щедро растрачиваемых на своих сотрудников.

*Первые школы по ускорителям.* Значительную часть Отдела Саранцева составляла молодежь. Комсомольцы всегда были активнейшими участниками на субботниках по выполнению неотложных работ для коллективного ускорителя. В ответ Саранцев поддерживал инициативы молодежи. Возникло предложение о проведении в суббо-

ту и воскресенье выездной летней школы по ускорителям на базе отдыха ОИЯИ на острове Липня на Московском море — и школа состоялась. Когда надо было решить проблемы по организации школы, В. П. мне говорил: «Если есть цель, то ее надо стремиться осуществить. Даже если для этого потребуются неординарные решения». И такие решения находились и принимались. Резонанс в ОИЯИ был впечатляющим. На второй школе к участникам из отдела Саранцева присоединились коллеги из других лабораторий. Подчеркну, что это была действительно школа, ориентированная на повышение квалификации молодых специалистов, с насыщенной научной программой. Лишь в вечернее время можно было посидеть у костра.

В ОИЯИ инициатива проведения летних школ была замечена. Была организована и успешно проведена «Первая международная школа молодых ученых по проблемам ускорителей заряженных частиц» в Ужгороде (4–15 сентября 1975 г.) совместно с ИЯИ АН УССР (Киев) и Ужгородским государственным университетом [59]. Председателем оргкомитета был В. П. Желепов, а ректором — В. П. Саранцев.

Сегодня ускорительные школы с участием ОИЯИ проводятся регулярно.

*Общественная работа.* Владислав Павлович всегда был в центре общественной жизни своего отдела, Объединенного института и города. Полагал, что деловые качества специалиста можно выявить не только в научно-производственной деятельности, но и в общественной сфере, в спорте. В приоритетном порядке продвигал тех сотрудников, кто замысел доводил до конечного результата. Стать лидером в Отделе Саранцева — это надо было заслужить.

Примечательно, что в общественных делах, как и в научных, он ставил перед коллективом максимальные задачи. Те, кто работал в ОИЯИ в 1970–1990-е гг., знают, сколь престижно было быть среди победителей соцсоревнования коллективов. Система показателей была разработана таким образом, что в соревнованиях лабораторий определенные преимущества получали подразделения, имеющие базовые установки. Поэтому коллективу, возглавляемому Владиславом Павловичем, полностью выполнявшему научные планы, претендовать на высшие места в соревновании с лабораториями, располагающими функционирующими ускорителями или реакторами, можно было лишь при условии лучших показателей по дисциплине труда, в спорте и т. д. И эта задача была выполнена! В те годы в ОНМУ была единственная в институте радиогазета, лучшая стенгазета «Адгезатор», первые места занимали команды лыжников, волейболистов, шахматистов, лидировали наши спортсмены и во многих других состязаниях. В большинстве подразделений ОНМУ действовало правило о снижении размера квартальных премий при наличии нарушителей трудовой дисциплины. С каждым нарушителем из числа «любителей спиртного» Владислав Павлович беседовал лично. Обычно одного такого разговора было достаточно, повторных инцидентов не происходило. Здоровье некоторых сотрудников и нормальный климат в их семьях были сохранены благодаря непримиримости Владислава Павловича в отношении к людям, не знавшим меры в употреблении спиртного.

Каждый сотрудник как участник конкретного дела был ответствен за достижение конечной цели. Умножение усилий давало впечатляющий результат. Коллектив ОНМУ неоднократно был в числе призеров соцсоревнования, был и победителем.

**Главный инженер ОИЯИ.** В последние годы жизни В. П. Саранцев был главным инженером Объединенного института ядерных исследований. Работал в дирекции ОИЯИ в 1992–1995 гг., когда ключевым моментом деятельности руководства институ-

та было предотвращение разрушительных тенденций тех лет в отношении инженерно-технических структур. На его плечи легла работа по обеспечению функционирования базовых установок и объектов общепланетарной инфраструктуры. Находясь на этом посту, он добился изменения функций и сферы ответственности главного инженера ОИЯИ. Все эти схемы действуют и ныне. На мой взгляд, внедряя в 1992 г. подобные новации, Владислав Павлович исходил из планов развития базовых установок, создания оптимальных условий для быстрого сооружения новых объектов. Действительность существенно скорректировала эти замыслы: в те годы с огромным трудом удавалось находить деньги на заработную плату, очень маленькие средства оставались на содержание инженерных объектов института. Но Владислав Павлович был верен себе: в 1993 г. было принято решение о начале работ по проекту ИРЕН — базовой установки ОИЯИ.

Ему, осуществлявшему масштабные замыслы, было очень не просто привыкнуть к реалиям того времени и общаться с обещавшими «золотые горы» бойкими и напористыми людьми. «Легкость» в суждениях подобной категории лиц, неразборчивость в средствах вызвала у Саранцева отрицательные эмоции. Владислав Павлович был глубоко порядочным человеком.

**Симпозиумы по коллективным методам ускорения.** Подводя итог этого раздела, решил привести некоторые сведения по симпозиумам по коллективным методам ускорения [60–63], труды которых отражают вклад многих ученых и специалистов в проведение исследований в этой области.

С 26 по 30 сентября 1972 г. ОИЯИ совместно с ФИАН им. П. Н. Лебедева провел первый симпозиум по коллективным методам ускорения. В. П. Саранцев возглавлял его оргкомитет. В работе симпозиума приняли участие специалисты по физике ускорителей из ОИЯИ, ЦЕРН, ГДР, Италии, Канады, Польши, СССР, США, ФРГ, Франции, ЧССР, Японии.

II Симпозиум по коллективным методам ускорения с огромным успехом также прошел в Дубне в 1976 г.

В 1978 г. очередной симпозиум проводили физики США. «Одним из рабочих языков симпозиума был русский — беспрецедентный случай для конференции на территории США. Это было проявление большого интереса и уважения к результатам, полученным в Советском Союзе» [64].

Был организован и была сформирована большая научная программа IV Симпозиума по коллективным методам, запланированного для проведения в Дубне. Примерно половину докладов должны были сделать зарубежные ученые. За несколько недель до открытия симпозиум был отменен.

В 1982 г. в Дубне прошло совещание по коллективным методам ускорения.

Взглянув на труды симпозиумов по коллективным методам ускорения и на труды других конференций по ускорителям заряженных частиц, можно отметить, что со второй половины 1970-х гг. все большее число научных лабораторий переключаются на работы по созданию синхротронов со сверхпроводящими магнитами и синхротронов с встречными пучками. В СССР с начала 1960-х гг. активно занимался реализацией метода встречных пучков Г. И. Будкер [65]. В 1965 г. он впервые предложил концепцию электронного охлаждения пучков протонов и ионов — метод, применяемый сейчас во многих лабораториях, работающих с тяжелыми ионами. На смену пассивным методам стабилизации пучковых параметров ускорителей пришли техно-



логии с активными методами воздействия на ускоряемые сгустки с помощью систем отрицательной обратной связи.

Перелистывая труды симпозиумов по коллективным методам ускорения, можно понять: довольно большое число ученых и специалистов с огромным воодушевлением пытались осуществить научный прорыв в физике и технике ускорителей, в основе которого были предложенные Векслером коллективные методы ускорения и исследования, проводимые в Отделе Саранцева.

## ФИЗИКА УСКОРИТЕЛЕЙ

Широкий кругозор, стремление вести работы по самым актуальным проблемам в области новых методов ускорения выделяли В. П. Саранцева среди ведущих специалистов по физике и технике ускорителей в мире. Период активных научно-исследовательских работ в этом направлении в ОИЯИ и России в значительной мере связан с достижениями Отдела Саранцева.

**Решенные и нерешенные проблемы.** Андрей Николаевич Лебедев [66] в написанном им в 2009 г. докладе (по просьбе оргкомитета VIII Научного семинара памяти В. П. Саранцева) наиболее полно высветил основные положения и этапы научных работ Владислава Павловича [43]. Вот что я хотел бы выделить в докладе А. Н. Лебедева: «Оглядываясь на события пятидесятилетней давности, становится ясно, что усилия по реализации коллективного ускорения были первым экспериментальным шагом в новую область — физику многокомпонентных сильноточных пучковых систем. (...)»

Сам В. И. Векслер не только не был поклонником детализированной теории, но и вообще предпочитал упрощенные наглядные модели, завораживающие своей кажущейся простотой. (...)»

Трудно работать в ситуации, когда от тебя требуют все возрастающих обязательств в непрерывно сокращающиеся сроки. Тем не менее кто-то должен был пройти по этому пути первым, и это сделал Саранцев. (...)»

К сожалению, судьба первых добровольцев, штурмующих крепостной ров, хорошо известна, но это отнюдь не умаляет их заслуг».

Работающий на эксперимент коллективный ускоритель ионов так и не был создан. Идеи В. И. Векслера, которые талантливо и творчески стремился осуществить В. П. Саранцев, опередили доступный технический уровень тех лет. Плюс постоянными были нехватка финансовых средств, недоступность ряда комплектующих: отечественных (поскольку ОИЯИ классифицировался в СССР как международная организация) и зарубежных (поставщики приборов и технологий идентифицировали ОИЯИ как организацию, работающую в СССР). Многие узлы и системы ускорителя были реализованы за счет изобретательности сотрудников отдела, находивших оригинальные замены дефицитным компонентам.

Мне посчастливилось быть очевидцем запуска Большого адронного коллайдера (ЛНС) в ЦЕРН. В течение нескольких месяцев, после пробного запуска в сентябре 2009 г., очень тщательно настраивались режимы захвата, ускорения и соударения сгустков с проектными спецификациями технологических систем коллайдера, но с небольшим числом сгустков и интенсивностью ниже проектной. Неторопливый ритм

наласточных работ дал результат: начиная с апреля 2010 г. буквально ежемесячно проектные параметры подтверждались рекордными в мире результатами по достигнутой энергии и светимости. Образно сравнивая наладку ЛНС со сборкой очень сложного пазла, можно утверждать, что он был блестяще собран.

Примерно в эти же годы мне принесли архивные документы в связи с работами Саранцева в первой половине 1960-х гг. В них я нашел очень четкое изложение замысла В. И. Векслера (фрагмент из отчета 1962 г.).

Основные требования к сгустку частиц можно сформулировать следующим образом:

- 1) сгусток должен состоять из смеси электронов и ионов;
- 2) сгусток должен быть заряженным;
- 3) кулоновское расталкивание релятивистских электронов в сгустке в конце ускорения должно быть скомпенсировано;
- 4) размер сгустка не должен превышать  $\sim 10$  см в диаметре.

Здесь — изложение идеи. В первую очередь надо подтвердить новый метод: сформировать компактные электронные кольца, которые могут быть использованы для ускорения небольшого числа ионов с темпом ускорения, значительно превосходящим возможности традиционных ускоряющих систем.

Если принять, что вероятность реализации каждого из перечисленных выше четырех процессов  $\varepsilon_i$ , то успешность повторяемости всей цепочки есть

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 \varepsilon_4$$

для взаимозависимых процессов, сопровождающихся случайными отклонениями от проектных спецификаций. Если, например,  $\varepsilon_i \approx 0,9$ , то  $\varepsilon \approx 0,66$ . Однако для первого процесса вероятность его реализации, возможно, меньше. Так, при  $\varepsilon_1 \approx 0,5$  получаем  $\varepsilon \approx 0,36$ . Известно, что при начальной наладке коэффициент захвата пучка при инжекции из линейного ускорителя в магнитное поле циклического ускорителя, как правило, не очень высок и весьма нестабилен. При инжекции сильноточного пучка (обычно более 100 А с длительностью около 30 нс) в адгезатор трудности настройки резко возрастали (см. [51]:  $\varepsilon_1 = 0,5-0,7$ ). Захват настраивался по конечному результату: чем больше захваченный ток, тем лучше. Согласно модели работавшего в отделе Саранцева молодого теоретика О. И. Ярковского, трагически погибшего, учет собственного поля заряженного кольцевого сгустка приводит к тому, что для частицы с зарядом  $q$  и импульсом  $p$ , циркулирующей в магнитном поле  $B$ , равновесный радиус  $\rho$  не сводится к традиционно используемой формуле, так что  $p\rho \neq qB\rho$  [48]. При большом числе электронов в кольце сразу после захвата в последующие моменты времени сгусток довольно быстро разрушался вследствие процессов, обусловленных коллективными неустойчивостями. Наиболее успешные, на мой взгляд, результаты для кольцевых сгустков были получены при быстром сжатии колец [47, 58]. Также было установлено, что увеличение энергетического разброса электронов в кольце сопровождается увеличением захваченного тока, приводит к долговременной стабильности циркулирующих частиц [50]. К сожалению, эти исследования были прекращены. Некоторые специалисты с модели коллективного ускорителя были переведены в коллектив, занимавшийся созданием коллективного ускорителя КУТИ, а большая часть коллектива модели коллективного ускорителя была переориентирована на участие в крупных ускорительных проектах сначала в ОИЯИ (ускорительный комплекс

тяжелых ионов УКТИ), СССР (ускорительно-накопительный комплекс УНК), а затем в США, ЦЕРН, DESY и других центрах.

Рискну отметить одну повторяющуюся во всех работах в Отделе Саранцева особенность: наблюдавшаяся нестабильность конечных параметров колец после сжатия в адгезаторе приводила к тому, что для воспроизведения удачных режимов требовалось вновь и вновь повторять достаточно кропотливую и продолжительную процедуру настройки ускорителя. Увеличение частоты циклирования ускорителя до 20 Гц (выдающееся достижение для мощных импульсных систем) не позволило выявить проблемные системы или процессы. Вероятность конечного результата была действительно следствием перемножения вероятностей протекавших процессов, причем наиболее нестабильной величиной был процесс захвата  $\varepsilon_1$ . Предполагаю, что не удалось найти «контролируемую точку» [68].

**Успешные проекты по ускорительной проблематике.** Во второй половине 1970-х гг. численность Отдела Саранцева была примерно 500 человек. Однако ограниченные производственные мощности экспериментальных мастерских не позволяли эффективно использовать накопленный потенциал увлеченных работой сотрудников для создания тестовых устройств с целью проверки научных и технологических гипотез, подлежащих экспериментальной апробации. Чтобы поддержать работоспособность коллектива на высоком уровне, Владислав Павлович принял решение о начале работ по новым направлениям:

- разработка и массовое производство детекторов для экспериментов по физике частиц высоких энергий в ведущих научных лабораториях;
- генерация СВЧ-полей для ускорения частиц;
- участие в крупных проектах по ускорительной проблематике;
- научно-техническое сопровождение разработок по ускорителям для промышленного применения и по другим инженерным работам (более подробный перечень приведен в статье [69]).

В результате возникли новые партнеры при проведении научных исследований, стали применяться более разнообразные, чем в предшествующие годы, передовые технологии и, что немаловажно, появились дополнительные финансовые инвестиции сторонних организаций.

Приведу несколько примеров, приведших к новым научным результатам.

*Генерация СВЧ-полей для ускорения частиц.* В 1983 г. В. П. Саранцев инициировал программу исследований по лазерам на свободных электронах, поручив возглавить эту работу Алимю Константиновичу Каминскому, работавшему с В. П. на модели коллективного ускорителя. При этом использовался первый в СССР линейный индукционный ускоритель электронов ЛИУ-3000, совместно с НИИЭФА сооруженный ранее под руководством Саранцева и запущенный в 1966 г. в ОНМУ. Здесь в сотрудничестве с ИПФ РАН (Горький) на базе индукционной ускоряющей секции впервые создан новый тип релятивистского электронного СВЧ-генератора: мазер на свободных электронах с «обратным» ведущим магнитным полем. На высоком уровне мощности зарегистрировано СВЧ-излучение в миллиметровом диапазоне волн. Получены результаты по исследованию стойкости металлов по отношению к мощным импульсным циклическим СВЧ-нагрузкам, которые могут быть полезны для разработчиков мощных СВЧ-источников [70].

*XFEL @ DESY.* В. П. Саранцев был знаком с работами Е. Л. Салдина, Е. А. Шнейдмиллера и М. В. Юркова по лазерам на свободных электронах и всячески поддерживал их. В 1988 г. пригласил М. В. Юркова на работу в свою лабораторию. Авторитет Саранцева как эксперта по новым методам ускорения в мире был очень высок. Директор DESY профессор Б. Вик, посетивший ОИЯИ в 1994 г., дал старт совместным работам в немецкой лаборатории. В соответствии с расчетно-теоретическими предсказаниями (см., например, [71]) в DESY была создана новейшая лазерная установка, на которой был настроен режим Self-Amplified Spontaneous Emission SASE [72]: «Powerful SASE has become an unquestionable reality in the IR, visible and VUV wavelength regime, and reliable operation was demonstrated at DESY over several weeks».

В 2000 г. в DESY была учреждена премия им. Б. Вика. В знак признания вклада российских ученых премия была присуждена Е. Л. Салдину, Е. А. Шнейдмиллеру и М. В. Юркову. Они остаются активными сотрудниками немецкой лаборатории, участвуя в работах на XFEL [73].

*ИРЕН.* В 1988 г. В. П. Саранцев поддержал предложение дирекции Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ о создании импульсного источника резонансных нейтронов ИРЕН. На основе традиционной для ОИЯИ схемы с использованием в качестве драйвера линейного ускорителя электронов Анатолий Павлович Сумбаев, коллега В. П. по работам по коллективному методу ускорения, реализовал проект. Решена задача по совершенствованию ускорительной части проекта ИРЕН в рамках существовавшей инфраструктуры реактора ИБР-30 — предыдущего комплекса по генерации нейтронов с довольно длинным импульсом (4,5 мкс). В результате выполненных на линейном ускорителе электронов работ существенно сокращена длительность нейтронного импульса (100 нс) [74]. На установке ИРЕН физики получили новые возможности для ядерно-физических исследований с использованием метода времени пролета в области энергий нейтронов до сотен килоэлектронвольт.

*LHC Dampfer.* Система демпфирования поперечных когерентных колебаний пучка в Большом адронном коллайдере (LHC Dampfer) была одним из последних замыслов В. П. Саранцева. Им и его заместителем И. Н. Ивановым была инициирована подготовка предложения об участии ОИЯИ в этом проекте. При поддержке И. А. Савина, который возглавлял в те годы Лабораторию физики частиц в ОИЯИ и имел многолетние партнерские отношения с ЦЕРН, удалось озвучить намерения ОИЯИ в ЦЕРН. Специалисты ЦЕРН с учетом опыта ОИЯИ в аналогичных работах в ИФВЭ (Протвино) в рамках проекта Ускорительно-накопительного комплекса предложение приняли. Проект был начат в 1994 г. под руководством И. Н. Иванова. В 2010 г. уникальная система по демпфированию колебаний, созданная совместно специалистами ЦЕРН и ОИЯИ, была отлажена на протонном пучке LHC, результативно и эффективно выполняя свои функции на коллайдере.

Не велик перечень стран, специалисты которых были готовы пойти на огромный риск, сопряженный с реализацией дерзновенных технологий, требовавшихся для создания принципиально новых систем для LHC. На предприятиях России и в ОИЯИ, в том числе в организованных В. П. Саранцевым научно-производственных подразделениях, были созданы уникальные узлы демпфера в полном соответствии с проектным заданием.

Очень помогли мне уроки, преподанные Саранцевым и его коллегами, в преодолении проблем, возникавших при создании и наладке системы демпфирования коле-

баний частиц. Я помнил правило: даже успешно функционирующая система должна в полной мере соответствовать замыслу. Однако было обнаружено, что при демпфировании когерентных колебаний с заметной амплитудой возникает небольшой сдвиг частоты бетатронных колебаний, чего не должно быть, если функционирование демпфера соответствует поведению осциллятора при наличии трения. Чтобы сохранить резонансное демпфирование релятивистских частиц в синхротроне, было предложено использовать резонансный режим настройки демпфера. В этом случае максимальный темп затухания когерентных колебаний обеспечивался в режиме, когда когерентная частота поперечных колебаний совпадала с собственной бетатронной частотой. В апреле 2012 г. этот режим был успешно опробован. В результате время наладки системы демпфирования при изменении рабочих режимов коллайдера существенно сократилось, поскольку спецификации отлаженного демпфера с высокой точностью совпадали с расчетно-теоретическими предсказаниями [75].

Система демпфирования колебаний частиц на ЛНС работает надежно и эффективно уже более 10 лет [76]. Заложенный в проект потенциал позволяет использовать новые режимы ее функционирования в соответствии с запросами физиков при увеличении интенсивности пучка и светимости ЛНС.

## ПОСЛЕСЛОВИЕ

Пути преодоления трудных проблем, которые решались в коллективе Саранцева и которые зачастую для многих казались неразрешимыми, отличались простотой. Непреодолимые препятствия мы часто выстраиваем сами, иногда в своих головах. Мне объясняли, как проще выявить возникший барьер. Приводили простые правила, которые обычно соотносили с именем В. И. Векслера. Этих правил совсем немного. И я эти правила часто применяю, когда надо снова «прыгнуть еще выше».

Методы и подходы решения возникающих задач, которые В. П. Саранцев последовательно применял, стараясь довести их суть до своих коллег, мне очень импонировали. Регулярные оперативки между сменами на модели коллективного ускорителя, участником которых мне довелось быть, сопровождались обсуждением деталей по динамике пучка в различных системах. В этих обсуждениях В. П. Саранцев напористо отстаивал свое видение и в то же время проявлял поразительное умение понять быстрее собеседника всю глубину возникающих идей, что было завораживающим и фантастическим по силе воздействия на окружающих. Это качество, несомненно, присуще только великим ученым. Владислав Павлович обладал этим даром.

Закончу свое сообщение искренней и емкой оценкой Андрея Николаевича Лебедева: «Конечно, фамилию В. П. в заголовке скорее надо понимать как мемориальную особенность нашего семинара. Имеется в виду не только его личный научный вклад, но и удивительная способность руководить и цементировать работу большого коллектива очень разнообразных специалистов — от теоретиков до вспомогательного персонала» [43].

«Ведь речь идет фактически о новой области — физике сильноточных пучков, балансирующей между физикой плазмы и ускорительными проблемами. И сейчас то (...) здесь далеко не все понятно. А тогда? Ведь он первым взялся сделать это

в железе, испытание которым очень часто не выдерживают самые блестящие идеи. (...) Кто-то должен был пройти эту дорогу первым. Он прошел» [42].

Итогами научных исследований являются как решенные, так и нерешенные проблемы. Вклад Отдела Саранцева в разработку и создание импульсных ускоряющих систем сильноточных пучков электронов и импульсных мощных систем питания признан в мире. Совершенно точно: прорыв в этих технологиях произошел.

Я благодарен судьбе, что мне довелось работать вместе с выдающимся ученым и прекрасным человеком — Владиславом Павловичем Саранцевым.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владислав Павлович Саранцев: Жизнь, отданная науке / Под общ. ред. И. Н. Иванова; ред.-сост. А. С. Гиршева. Дубна: ОИЯИ, 2001. 187 с.
2. Интернет-портал: Выдающиеся ученые ОИЯИ. Outstanding Scientists.
3. Он был настоящим исследователем // Дубна: наука, содружество, прогресс. 1995. № 42 (электрон. архив).
4. Науч. семинар памяти В. П. Саранцева: «Эстафета научных идей» // См. [1]. С. 150–154.
5. Тр. II науч. семинара памяти В. П. Саранцева, Дубна, 23–24 сент. 1997 г. Дубна, 1998. 159 с.
6. Тр. III науч. семинара памяти В. П. Саранцева, Дубна, 22–23 сент. 1999 г. Дубна, 2000. 195 с.
7. Тр. IV науч. семинара памяти В. П. Саранцева, Дубна, 26–28 сент. 2001 г. Дубна, 2002. 263 с.
8. Тр. V науч. семинара памяти В. П. Саранцева, Дубна, 23–24 сент. 2003 г. // Письма в ЭЧАЯ. 2004. Т. 1, № 3[120]; 2005. Т. 2, № 3(126).
9. Тр. VI науч. семинара памяти В. П. Саранцева, Алушта, Украина, 8–10 сент. 2005 г. // Письма в ЭЧАЯ. 2006. Т. 3, № 7(136).
10. Тр. VII Междунар. науч. семинара памяти В. П. Саранцева «Проблемы ускорителей заряженных частиц: электрон-позитронные коллайдеры», Алушта, Украина, 2–7 сент. 2007 г. // Письма в ЭЧАЯ. 2008. Т. 5, № 7(149).
11. Тр. VIII Междунар. науч. семинара памяти В. П. Саранцева «Проблемы ускорителей заряженных частиц: электрон-позитронные коллайдеры», Алушта, Украина, 31 авг. – 5 сент. 2009 г. // Письма в ЭЧАЯ. 2010. Т. 7, № 7(163).
12. Тр. IX Междунар. науч. семинара памяти В. П. Саранцева «Проблемы ускорителей заряженных частиц: электрон-позитронные коллайдеры», Алушта, Украина, 17–21 сент. 2011 г. // Письма в ЭЧАЯ. 2012. Т. 9, № 4–5(174–175).
13. Тр. X Междунар. науч. семинара памяти В. П. Саранцева «Проблемы ускорителей заряженных частиц: электрон-позитронные коллайдеры», Алушта, Украина, 3–7 сент. 2013 г. // Письма в ЭЧАЯ. 2014. Т. 11, № 5(189).
14. Тр. XI Междунар. науч. семинара по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти проф. В. П. Саранцева, Алушта, Россия, 7–11 сент. 2015 г. // Письма в ЭЧАЯ. 2016. Т. 13, № 7(205).
15. Тр. XII Междунар. науч. семинара по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти проф. В. П. Саранцева, Алушта, Россия, 3–8 сент. 2017 г. // Письма в ЭЧАЯ. 2018. Т. 15, № 7(219).
16. Тр. XIII Междунар. науч. семинара по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти проф. В. П. Саранцева, Алушта, Россия, 3–8 сент. 2019 г. // Письма в ЭЧАЯ. 2020. Т. 17, № 4(229).
17. Обухов Ю. Л. Эпохальное // См. [1]. С. 129–130.

18. Симонов Константин Михайлович. [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org).
19. Сурков Алексей Александрович. [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org).
20. Кузнецов А. А. Он был талантлив во всем // См. [1]. С. 57–59.
21. Шафранов М. Д. Всегда оставался на высоте // См. [1]. С. 60–63.
22. Владимир Иосифович Векслер. Дубна: ОИЯИ, 2003. 407 с.
23. Перельштейн Э. А. Краткий очерк научной и научно-организационной деятельности // См. [22]. С. 8–14.
24. Саранцев В. П. Это надо заслужить // Еженедельник «Дубна». 1988. № 42 (электрон. архив).
25. Кузнецов А. Б. Когда все жили на улице Лесной. . . // См. [1]. С. 64–67.
26. Несмеянов А. Н. Лауреаты Ленинской премии за создание синхрофазотрона // См. [22]. С. 167.
27. Павлов Н. И., Семенюшкин И. Н. Краткая биография (К десятилетию запуска синхрофазотрона) // См. [22]. С. 159–163.
28. Саранцев В. П. Автореф. дис. . . . д-ра физ-мат. наук. [www.sarancev.ru](http://www.sarancev.ru).
29. CERN Symposium on High Energy Accelerators and Pion Physics, CERN, Geneva, Switzerland, June 11–23, 1956. V. 1.
30. Вопросы разработки и эксплуатации ускорителей элементарных частиц на большие энергии на Симпозиуме Европейского центра ядерных исследований (CERN) в Женеве // АЭ. 1956. Т. 1, № 5. С. 138–139.
31. Budker G. I. Relativistic Stabilized Electron Beam: I. Physical Principles and Theory. 1956. P. 68–75.
32. Budker G. I., Naumov A. A. Relativistic Stabilized Electron Beam: II. Brief Review of Experimental Work. 1956. P. 76–79.
33. Veksler V. I. Coherent Principle of Acceleration of Charged Particles. P. 80–83.
34. Fainberg Ia. B. The Use of Plasma Waveguides as Accelerating Structures in Linear Accelerators. 1956. P. 84–90.
35. Векслер В. И. Когерентный принцип ускорения заряженных частиц // АЭ. 1957. Т. 2, № 5. С. 427–430.
36. Рабинович М. С. Коллективные методы ускорения // Тр. Всесоюз. совещ. по ускорителям заряженных частиц, Москва, 9–16 окт. 1968 г. М.: ВИНТИ, 1970. Т. 2. С. 473–490.
37. Есин Сергей Константинович. [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org).
38. Есин С. К. Эстафета научных идей // См. [1]. С. 153–154.
39. Veksler V. I., Sarantsev V. P. et al. Collective Linear Acceleration of Ions // Proc. of the 6th Intern. Conf. on High Energy Accel. “HEACC67”, Cambridge, USA, Sept. 11–15, 1967. P. 289–294; Дополненный текст доклада // АЭ. 1968. Т. 24, № 4. С. 317–322.
40. Cambridge Accelerator Conference // CERN Courier. 1967. V. 7, No. 10. P. 199–204.
41. Коломенский Андрей Александрович. Сайт физфака МГУ.
42. Лебедев А. Н. О Славе // См. [1]. С. 115–117.
43. Лебедев А. Н. В. П. Саранцев и физика сильноточных пучков // Тр. VIII Междунар. науч. семинара памяти В. П. Саранцева «Проблемы ускорителей заряженных частиц: электрон-позитронные коллайдеры», Алушта, Украина, 31 авг. – 5 сент. 2009 г.
44. Sessler A. M. The Electron Ring Accelerator // Proc. of the 1968 Proton Linear Conf. “LINAC1968”, Upton, New York, USA. JACoW Publ., 1968. P. 606–607.
45. 10 лет ОНМУ // Дубна: наука, содружество, прогресс. 1972. № 17 (электрон. архив).
46. Саранцев В. П. Ускоритель с электронными кольцами // Proc. of the 7th Intern. Conf. on High-Energy Accel. (HEACC 69), Yerevan, USSR, 27 Aug. – 2 Sept. 1969. P. 440–446.

47. Саранцев В. П., Рашевский В. П. и др. Эксперименты по ускорению альфа-частиц коллективным методом // ЖЭТФ. 1971. Т. 60, № 6. С. 1980–1984.
48. Иванов И. Н. и др. Коллективное ускорение ионов // ЭЧАЯ. 1970. Т. 1, № 2. С. 391–442.
49. Mohl D., Lasslet L. J., Sessler A. M. On the Performance Characteristics of Electron Ring Accelerators // Part. Accel. 1973. V. 4. P. 159–167.
50. Габанец И., Жабицкий В. М., Иванов И. Н. и др. Исследование систем инжекции электронов на модели коллективного ускорителя // Тр. II симп. по коллективным методам ускорения, Дубна, 29 сент. – 2 окт. 1976 г. Дубна: ОИЯИ, 1976. С. 47–50.
51. Саранцев В. П. Ускорение ионов в электронных кольцах // УФН. 1978. Т. 124, № 1. С. 190–192.
52. Долбилов Г. В. и др. Эксперименты по ускорению ионов азота в прототипе коллективного ускорителя тяжелых ионов ОИЯИ // Тр. VI Всесоюз. совещ. по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1978 г. Дубна, 1979. Т. 2. С. 26–29.
53. Саранцев В. П. Работы по созданию коллективного ускорителя в ОИЯИ // Тр. II симп. по коллективным методам ускорения, Дубна, 29 сент. – 2 окт. 1976 г. Дубна: ОИЯИ, 1976. С. 13–28.
54. Александров В. С. и др. Коллективный ускоритель тяжелых ионов — КУТИ-20 // Тр. IX Всесоюз. совещ. по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 16–18 окт. 1985 г. Дубна, 1985. Т. 2. С. 151–156.
55. Аверьянов В. И. и др. Формирование и ускорение трубчатого пучка электронов в секциях ЛУЭК-20 // Тр. XI Всесоюз. совещ. по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 25–27 окт. 1989 г. Дубна, 1989. Т. 2. С. 107–110.
56. Саранцев В. П., Перельштейн Э. А. Коллективное ускорение ионов электронными кольцами. М.: Атомиздат, 1979. 216 с.
57. Саранцев В. П., Перельштейн Э. А. Развитие коллективных методов ускорения в ОИЯИ // См. [22]. С. 108–116.
58. Shumacher U., Andelfinger C., Ulrich M. Collective Acceleration of Protons and Helium Ions in the Garhing ERA // IEEE Trans. Nucl. Sci. 1975. V. NS-22, No. 3. P. 989–991.
59. Тр. Первой междунар. шк. молодых ученых по проблемам ускорителей заряженных частиц, Ужгород, СССР, 4–15 сент. 1975 г. Дубна: ОИЯИ, 1976. 298 с.
60. Тр. I симп. по коллективным методам ускорения. Дубна: ОИЯИ, 1972. 164 с.; АЭ. 1973. Т. 34, № 3. С. 222–223.
61. Тр. II симп. по коллективным методам ускорения. Дубна: ОИЯИ, 1976. 291 с.; АЭ. 1977. Т. 42, № 2. С. 153–154.
62. III Международная конференция по коллективным методам ускорения // АЭ. 1978. Т. 45, № 6. С. 474–476;  
Rostoker N., Reiser M. Collective Methods of Acceleration. Harwood Acad. Publ. GmbH, 1979. 723 p.
63. Коллективные методы ускорения: Тр. Совещ. по проблемам коллективного метода ускорения, Дубна, 18–20 мая 1982 г. Дубна: ОИЯИ, 1982. 220 с.
64. Иванов И. Н. Векслер в своем выборе не ошибся // См. [1]. С. 71–75.
65. Будкер Герш Ицкович. en.wikipedia.org.
66. Лебедев Андрей Николаевич. Сайт РАН.
67. Сумбаев А. П., Александров В. С. «Делайте, что хотите...» // См. [1]. С. 126–128.
68. Векслер В. И. «Я убежден, что Вы живете нашим делом...» // См. [1]. С. 5–6.
69. Кузнецов А. Б. В. П. Саранцев и современные работы ускорительного отделения ЛФЧ ОИЯИ // Письма в ЭЧАЯ. 2004. № 3[120]. С. 9–12.



70. *Каминский А. К.* Мазер на свободных электронах с обратным ведущим магнитным полем и его использование для исследования ресурса ускоряющих структур коллайдеров. Автореф. дис. . . . д-ра физ.-мат. наук. Дубна: ОИЯИ, 2014. 33 с.
71. *Saldin E. L., Schneidmiller E. A., Yurkov M. V.* FAST: A Three-Dimensional Time-Dependent FEL Simulation Code // Nucl. Instr. Meth. A. 1999. V. 429. P. 233–237.
72. *Rossbach J.* Recent SASE Free Electron Laser Results // 7th Eur. Part. Accel. Conf. (EPAC 2000), Vienna, June 26–30, 2000. JACoW Publ., 2000. P. 88–92.
73. *Karabekyan S. et al.* The Status of the SASE3 Variable Polarization Project at the European XFEL // Proc. of the 13th Intern. Part. Accel. Conf. (IPAC 2022), Bangkok, June 12–17, 2022. P. 1029–1032.
74. *Сумбаев А. П.* Ускоритель ЛУЭ-200 — генератор фотонейтронов импульсного источника резонансных нейтронов ИРЕН. Автореф. дис. . . . д-ра физ.-мат. наук. Дубна: ОИЯИ, 2022. 40 с.
75. *Жабицкий В. М.* Динамика пучка в синхротронах с цифровыми широкополосными системами подавления когерентных поперечных колебаний заряженных частиц // ЭЧАЯ. 2014. Т. 45, № 2. С. 806–874.
76. *Höfle W.* Status and Prospects in Fast Beam-Based Feedbacks // Proc. of the 13th Intern. Part. Accel. Conf. (IPAC 2022), Bangkok, June 12–17, 2022. JACoW Publ., 2022. P. 3112–3117.

Получено 18 ноября 2022 г.