



либровка астрофизических приборов [9], работы по физике твердого тела, кристаллографии, рентгеноструктурному анализу, радиационной биофизике [6, 18]. Распределение числа фотонов в рентгеновском диапазоне длин волн СИ Ереванского ускорителя досконально рассчитано в работе Алиханяна и др. [2], где дано спектральное распределение СИ, охватывающее область от  $0,6$  до  $7 \text{ \AA}$  с максимумом при  $1,5 \text{ \AA}$ .

Одной из фундаментальных задач биологии является изучение структурных превращений при функционировании биологических систем. Временные характеристики этих процессов находятся в диапазоне тысячных долей секунд. Так как биополимеры слабо рассеивают излучение, то на традиционных рентгеновских установках дифракционные картины можно получить лишь при экспозиции в десятки часов, но в этом случае можно извлечь информацию только о статическом состоянии биологической системы. Метод рентгеноструктурного анализа дает принципиальную возможность исследовать динамику структурных превращений, так как время этих превращений значительно больше времени взаимодействия излучения с веществом ( $10^{-9} - 10^{-16}$  сек.). Наличие интенсивных потоков фотонов позволит определять мгновенные структурные состояния биологических систем.

В 1971 г. в Гамбурге Розенбаум, Холмс и Вите [31] на синхротроне «ДЕЗИ» поставили эксперимент, который открыл новую эру в молекулярной биологии. Они показали на вирусе табачной мозаики и летательной мышце *Lethoceros taximus* выигрыш во времени в два раза по сравнению с экспериментами на рентгеновских трубках с вращающимся анодом. Впоследствии были получены дифракционные картины с большой четкостью за тысячные доли секунды, позволяющие следить за динамическими процессами [7]. Малая расходимость пучка СИ ( $10^{-4}$  рад.) в совокупности с большой интенсивностью его позволяет видеть дифракционную картину при малых углах и получать информацию о биологических объектах со структурным периодом в десятки ангстрем.

В 1972 г. впервые в СССР на Ереванском синхротроне была показана принципиальная возможность получения дифракционных картин от мышц лягушки [6]. Применение СИ с ЭВМ дало возможность сотрудникам ИЯФ СО АН СССР и ИБФ наблюдать за структурными превращениями в биологических объектах, на пучке накопителя ВЕПП-3. В этих экспериментах детектором служила однокоординатная пропорциональная камера [32], разработанная в ИЯФ [10]. Эксперименты показали, что за 100 сек получается кривая рассеяния с нужной статистической точностью. На рентгеновской трубке время экспозиции составляло 20—40 часов. Большой выигрыш был получен при монохроматизации  $\left( \lambda = 1,5 \text{ \AA}, \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \approx 6 \cdot 10^{-5} \right)$  и диафрагмировании пучка. Сокращение мышц вызывалось генератором импульсов. Цикл сокращения мышцы  $\sim 65$  мсек был разбит на 8 временных интервалов и информация с детектора в каждом интервале регистрировалась в одной из 8-ми

групп памяти анализатора импульсов. Система регистрации позволяла снять восьмикладровый фильм и наблюдать за изменением структуры мышцы в разных фазах сокращения [7]. Применение СИ в структурном анализе на накопителе ВЕПП-3 показало, что время экспозиции можно уменьшить в 100 раз при изучении структуры белка и получить рентгенограмму от белкового кристалла размером  $\sim 10^{-3}$  мм<sup>3</sup> за 60 мин [10]. Это позволило перейти к изучению структуры белковых кристаллов объемом  $10^{-4} \div 10^{-6}$  мм<sup>3</sup>, что очень важно, так как получение крупных и пригодных для анализа белковых кристаллов весьма сложно.

Использование СИ открыло новые возможности в исследованиях электронной структуры вещества, основанных на анализе спектров поглощения, отражения, флуоресценции, фотоэлектрической эмиссии. Широкий диапазон энергии СИ, от 1,6 эв до 200 кэв, дает возможность перекрыть всю область характерных надъядерных энергий [38]. Поглощение рентгеновских лучей при прохождении через вещество описывается формулой  $J = J_0 e^{-\mu x}$ , где  $J_0$  — интенсивность падающего пучка,  $J$  — интенсивность пучка, после прохождения через вещество,  $\mu$  — коэффициент поглощения,  $x$  — толщина образца. Когда энергия падающего рентгеновского кванта равна энергии связи электрона в атоме, тогда электрон, поглощая энергию кванта, переходит из связанного состояния в свободное. В этом случае наблюдается резкий скачок на кривой поглощения [5]. В соответствии с энергиями связи электронов разных уровней, которые принято обозначать через K, L и т. д., края поглощения обозначаются соответственно K, L и т. д. Для разных атомов энергия связи электронов на одноименных уровнях разная, и поэтому, например, K — край разных элементов на энергетической шкале разделены. Зная K — край поглощения элемента, можно определить сорт атома поглотителя. Известно, что кривая поглощения рентгеновских лучей в зависимости от энергии выше K — края дает сложные осцилляции. При этом асимптотика кривой поглощения монотонно убывает [26]. Осцилляции ниспадающей части кривой названы EXAFS — extended x-ray absorption fine structure. Хотя это явление было известно еще в 30-ых годах, применение его в структурных исследованиях биополимеров началось в 1974 г., когда накопительные кольца электронов дали возможность получать пучки СИ в  $10^5 \div 10^6$  раз более интенсивные, чем самые хорошие трубки с вращающимся анодом. В последнее время EXAFS успешно используется для изучения структуры вещества. Исследование коэффициента поглощения  $\mu$  рентгеновского излучения при энергиях выше K — края поглощения изучаемого атома позволило определить расстояние между ним и окружающими его атомами [33]. Экспериментально было показано, что точность определения расстояния между атомами составляла  $\pm 0,05 - 0,015$  Å. Особую ценность метод EXAFS приобретает при изучении локального окружения металла в металлсодержащих белках.

В цель данной обзорной статьи не входит описание сложного математического аппарата, описывающего это явление. Об этом сказано

в ряде работ [16, 17, 36]. Мы остановимся на физике возникновения EXAFS.

Выбитый рентгеновским квантом электрон распространяется как электронная сферическая волна [11], рассеивающаяся на ближайших соседних атомах. Часть волны отражается в обратном направлении, и интерференция отраженной волны с падающей электронной волной является причиной этих осцилляций выше  $K$ -края поглощения. В дипольном приближении зависимость поглощения рентгеновских лучей  $K$ -оболочкой атома выражается формулой [37].

$$W = \frac{2\pi^2 e^2}{\omega c^2 m^2} |M_{fs}|^2 \rho(E_f), \quad (1)$$

где  $M_{fs} = \langle f | \mathbf{p} \cdot \hat{\boldsymbol{\varepsilon}} | s \rangle$ ;  $|s\rangle$  —  $K$ -оболочное состояние;  $\langle f |$  — финальное состояние;  $\rho(E_s)$  — плотность состояний на единицу энергии конечного состояния;  $\omega$  — частота падающих рентгеновских лучей;  $\mathbf{p}$  — оператор момента;  $\hat{\boldsymbol{\varepsilon}}$  — вектор электрического поля рентгеновских лучей.

Вышеупомянутая интерференция приводит к появлению осцилляционного члена в  $M_{fs}$  и тем самым в поглощении  $W$ . Путем математических вычислений получают формулу для EXAFS [22].

$$\chi(k) = \sum \frac{-N_j |f(k, \pi)|}{k R_j^2} \cdot e^{-2\sigma_j^2 k^2} \cdot e^{-2R_j} \sin(2kR_j + \delta_j(k)),$$

где  $\chi(k) = \Delta\mu/\mu_0$ ;  $\mu_0$  — коэффициент ослабления без EXAFS;  $\Delta\mu$  — амплитуда осцилляций;  $N_j$  — число рассеивающих атомов на расстоянии  $R_j$ ;  $f(k, \pi)$  — амплитуда рассеяния электронов в обратном направлении от  $j$ -го атома  $e^{-2\sigma_j^2 k^2}$  — фактор Дебая-Уоллера, который учитывает температурные искажения с средне-квадратичной флуктуацией  $\sigma_j^2$ ;  $e^{-2R_j}$  — член, который учитывает неупругое рассеяние электронов,  $\lambda$  — обратная средняя длина;  $\sin(2kR_j + \delta_j(k))$  — синусоидальный интерференционный член,  $\delta_j(k)$  — функция разности фаз.

Очевидно, что спектр EXAFS содержит большую информацию об изучаемом веществе, количестве атомов, окружающих поглощающий атом ( $N_j$ ), сортах окружающих атомов ( $f(k, \pi)$ ), так как каждый атом рассеивает по-своему, о расстоянии этих атомов от поглощающего атома ( $R_j$ ) и т. д. Для получения этой информации из экспериментальных данных используют известный в математике Фурье-анализ [28, 37].

В последние годы EXAFS был удачно применен для структурных исследований в биологии, химии и физике твердого тела.

Этот метод, позволяя изучать локальную структуру макромолекул с большим разрешением (0,05–0,01 Å), в то же время не предъявляет жестких и трудоемких требований к состоянию образца. А это зна-

чительно расширяет границы применения EXAFS по сравнению с рентгеноструктурным анализом, дающим представление о структуре всей белковой глобулы, но требующим наличия крупных и пригодных для исследования кристаллов. Возможность изучать методом EXAFS биологические соединения не только в кристаллическом состоянии, но и в растворе позволяет исследователям изучать практически все известные металлсодержащие белки.

Методом EXAFS можно исследовать тяжелый атом и его ближайшие лиганды, и именно этот участок металлсодержащих ферментов представляет наибольший интерес для биологов, так как в этом локусе фермента совершается ферментативная реакция. Изучение структуры этого участка молекулы и структурных превращений в нем в ходе биохимической реакции позволяет подойти ближе к пониманию механизма функционирования ферментов.

Метод EXAFS в биологии еще нов—первая публикация появилась в 1975 г. [35]. Пока еще разрабатываются методические и аппаратурные аспекты применения этого метода для структурных исследований биологических соединений, совершенствуются методы расчета спектров, но уже получены интересные результаты на некоторых ферментах. В частности, по данным рентгеноструктурного анализа, в рубредоксине и гемоглобине между атомом железа и его лигандами имеется одна «напряженная» более короткая связь, которая, предполагают, ответственна за совершение реакции (например, из 4-х Fe-S связей в рубредоксине длина трех = 2,24 Å°, а четвертая, более короткая, = 2,05 Å°). По данным же EXAFS, подобных «напряженных» связей нет ни в рубредоксине, ни в гемоглобине [22, 35], и, по-видимому, надо искать другой механизм функционирования этих соединений.

Интенсивно исследуется также нитрогеназа—ферментная система клубеньковых бактерий, участвующая в биосинтезе аммиачных соединений из азота воздуха. Применение метода позволило идентифицировать координационное положение молибдена, входящего в активный центр фермента, определить его химическое состояние (Mo в нитрогеназе пентавалентен), лиганды первой координационной сферы: 3 N, 2 O, 1 S. Выяснено, что 2 атома Mo работают сообща и присутствие субстрата вызывает изменение в координационном окружении Mo [21, 24].

Методом EXAFS получены ценные результаты и на другой малоизученной белковой системе—гемоцианине, имеющем 2 атома меди в активном центре и обратимо связывающем O<sub>2</sub>. Гемоцианин—крупная молекула, и изучение ее активного центра другими методами очень сложно. EXAFS позволяет изучать локальное окружение меди. Уже определено валентное состояние ее в различных гемоцианинах (двухвалентна в окси- и нитрогемоцианине и одновалентна в дезоксигемоцианине), количество атомов на первой координационной сфере (5—6 атомов лигандов в окси- и нитрогемоцианине, 3—4—в дезоксигемоцианине), расстояние до 1 координационной сферы, с точностью до 0,03 Å°, (1,96 Å°—в оксигемоцианине, 1,99 Å°—в дезоксигемоцианине и 2,01 Å°—в нитрогемоцианине) [35].

Этот далеко не полный перечень результатов, полученных методом EXAFS, свидетельствует об уникальности метода, о возможностях, которые открываются перед исследователями в области молекулярной биологии.

Одной из актуальных проблем применения СИ является взаимодействие СИ с живыми объектами и влияние его на особенности их функционирования. Биологическое действие монохроматических источников рентгеновских лучей было исследовано Глезером и др. [23]. Авторы пришли к выводу, что резкое падение интенсивности излучения при его монохроматизации делает невозможным изучение радиобиологических эффектов. С другой стороны, известно, что для изучения радиобиологической реакции желательна монохроматизация источника, так как коэффициент поглощения, квантовый выход и состав образующихся продуктов могут зависеть от длины волны. Поэтому высокая монохроматичность излучения поможет исключить неопределенности, связанные с использованием немонохроматизированного пучка.

Впервые на канале СИ Ереванского кольцевого ускорителя были поставлены эксперименты по биологическому действию СИ на хромосомный аппарат растений и ДНК животного происхождения [1, 3, 18, 19]. При проведении работ по радиобиологии возникает необходимость точного измерения числа поглощенных фотонов  $N$  заданной длины волны  $\lambda$  на единицу события. Такая работа была нужна для более точной оценки поглощенной биообъектами дозы. Был измерен коэффициент поглощения  $\mu$  ( $\lambda$ ) [19] для семян гороха, пшеницы, табака, а также дистиллированной воды. Пучок СИ с помощью вакуумного пучкопровода длиной 25 м транспортировался от орбиты ускорителя на коллимирующую и спектрометрическую аппаратуру, позволяющую выделять заданную длину волны  $\lambda$ . Спектрометр был собран на базе гониометра ГУР-5 с использованием идеального кристалла Si (111), имеющего ширину дифракционного максимума  $\sim 15^{-11}$ . Измерение числа отраженных от кристалла фотонов осуществлялось с помощью 2-х ионизационных пролетных камер длиной в 1 и 20 см. Результаты измерений  $\mu$  ( $\lambda$ ) для образцов и для воды представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений  $\mu$  ( $\lambda$ )

Угол падения пучка	6°	8°	9°	10°	12°
$\mu$ ( $\lambda$ )					
H <sub>2</sub> O эксп.	0,899	1,92	2,64	3,57	5,79
$\mu$ ( $\lambda$ )					
Горох эксп.	0,820	1,74	2,35	3,38	5,40
$\mu$ ( $\lambda$ )					
Пшеница эксп.	0,730	1,53	2,12	2,73	4,30
$\mu$ ( $\lambda$ )					
Табак эксп.	0,463	0,93	1,25	1,72	2,75
(A°)	0,661	0,873	0,980	1,089	1,304
Ефот (кэв)	18,72	14,17	12,63	11,36	9,49
M (x) (1)	0,89	1,93	2,66	3,58	5,83
H <sub>2</sub> O (2)	0,96	2,07	2,86	3,34	6,32
Расчет					

Дистиллированная вода, взятая в качестве монитора, подтверждает достоверность проведенных измерений  $\mu(\lambda)$ . Расчет производился согласно Блохину [4], где  $\mu(\lambda) = 0,0115 \cdot Z_{\text{эфф}}^{2,78} \cdot \lambda^{2,78} \cdot Z_{\text{эфф}}$

$$Z_{\text{эфф}} \text{ для воды} \approx 7,23 - 7,42.$$

В дальнейшем при сравнительном изучении биологического действия СИ и рентгеновских лучей на ДНК измерялись [26] спектры ЭПР, а также релаксационные и рекомбинационные свойства парамагнитных центров (ПЦ), образующихся под действием этих излучений. Спектры ЭПР регистрировались при  $-196^\circ$ . В обоих случаях были получены одинаковые результаты.

При сравнительном действии немонахроматизированного и монахроматизированного СИ и рентгеновских лучей (установка РУП-200) на семена табака были получены результаты, приведенные в табл. 2. Подсчет клеток [18, 21] проводился в ана- и телофазах.

Из таблицы видно, что действие сплошного спектра СИ резко отличается от действия излучения рентгеновских трубок. Цитологические исследования свидетельствуют о заметной задержке митозов. При облучении рентгеновским источником и монахроматическим СИ, при длинах волн, равных 0,55, 1,52 и 3,04  $\text{А}^\circ$ , и дозе 3263 рад. наблюдается небольшое отклонение в пределах 3—8%, в то время как действие немонахроматизированным спектром СИ при той же дозе приводит к летальному эффекту.

Исследовался также «кислородный эффект» СИ на 4-дневных меристематических клетках проростков табака. Оказалось, что при облучении корешков X-лучами в атмосфере кислорода процент выхода хромосомных aberrаций составляет при 2 500 рад. 2,5%, тогда как при действии СИ — 23—24% [20].

Эксперименты на семенах пшеницы [12] также выявили резкое различие в действии X-лучей и СИ. Рентгеновское облучение дозами 0,5—10 крад не влияет на митотическую активность клеток, при дозе 15 крад наблюдается слабое угнетение клеточного деления. При облучении же семян СИ эффект намного сильнее: при дозе 15 крад наблюдается полное подавление митотической активности и выхода хромосомных aberrаций.

В последнее время японскими учеными проводятся обширные исследования по исследованию действия вакуумного ультрафиолета (УФ) на микроорганизмы. Сравнительные эксперименты были поставлены на пучках накопительного кольца Токийского университета с максимумом энергии 0,4 Гэв [14, 30]. В работе [30] исследовалось действие СИ, вакуумного УФ-163 нм и дальнего спектра УФ-254 нм на инактивацию гемагглютинина, нейраминазы, Sendai—вируса. Биологическое действие этих двух спектров показало специфичность поглощения разных длин волн разными молекулами вируса. Были проведены также эксперименты на бактериофаге T1 и на E. coli, исследовалась инактивация, фотореактивация и выживаемость.

Таблица 2

Содержание aberrantных клеток при воздействии рентгеновскими лучами монохроматическим и сплошным спектром СИ на семена  
*Nicotiana tabacum* L., %

Показатели	Контроль	Рентгеновское излучение	Монохроматическое излучение			Сплошной спектр СИ		
Длина волны, А°	—	К ~ 0,05 А°	0,55	1,52	3,04	0,11—3,13		
Энергия, кэв	—	248	22,49	8,14	4,07	112,48—3,95		
Доза облучения, рад	0	3263	3263	3263	3263	980	2283	3263
Число aberrantных клеток, %	1,2±0,1	8,4±2,4	3,5±1,0	5,4±1,5	5,2±1,4	22±1,4	38±3,9	летальный эффект
Число исследованных клеток в ана-, тело-фазе	213	250	182	202	237	143	127	—

Профессором Ито с сотр. [13, 25] были проведены эксперименты по изучению радиационных эффектов УФ и мягких X-лучей. Используя СИ накопителя с энергией 0,3 Гэв  $\lambda < 115$  нм, они облучали споры *Bacillus subtilis* в сухом виде. В эксперименте были использованы споры UVR, UVS и UVP, отличающиеся между собой по репарации ДНК (с дефектом в ДНК-полимеразе). Авторы пришли к выводу, что вакуумный УФ и дальний УФ вызывают различного рода повреждения ДНК и дополнительно действуют на смертность и мутацию в спорах.

Перечисленные данные, конечно, не являются достаточными для выяснения механизма биологического действия СИ, однако сильное повреждающее действие СИ, по-видимому, объясняется поляризацией СИ, которая может вызвать анизотропию радикалов [8]. Известно, что спектральная плотность СИ в рентгеновской части спектра ( $2 \div 100$  кэв) на шесть порядков выше тормозного спектра и на три порядка выше характеристического излучения обычных рентгеновских трубок [10]. Поэтому следует ожидать, что при действии СИ эффект повреждений будет больше. Спектральный состав монохроматизированного СИ сложный, и при одновременном действии всего спектра СИ можно ожидать нелинейный эффект. Наконец, есть экспериментальные данные [7], согласно которым сильное повреждающее действие СИ объясняется наличием в монохроматизированном СИ длинноволнового компонента, значительно сильнее поглощаемого биологическими объектами.

Все вышеизложенное является рабочей гипотезой, которую предстоит доказать экспериментально в дальнейших радиобиологических работах.

Ереванский физический институт ГКАЭ,  
Лаборатория радиационной биофизики,  
кафедра цитологии ЕГУ

Поступило 30.X 1979 г.

## ՍԻՆԵՐՈՏՐՈՆԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՅՔՈՒՄԸ ԵՎ ՆՐԱ ՕԳՏԱԳՈՐԾՈՒՄԸ ԿԵՆՍԱՐԱՆՈՒԹՅԱՆ ՄԵՋ

Մ. Մ. ԱՎԱԳՅԱՆ, Ս. Գ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ, Ա. Ս. ԿԱՐԱԳՅՈՋՅԱՆ,  
Մ. Մ. ԿՈՐԵՄԱՋՅԱՆ

Ժամանակակից օդակածե կլեկտրոնային արագացուցիչները հանդիսանում են սինխրոտրոնային ճառագայթների առաջման աղբյուր: Ունենալով լայն ալիքային դիապազոն, մինիմալ շեղում և բարձր ինտենսիվություն, սինխրոտրոնային ճառագայթները դարձել են արտակարգ գործիք՝ մոլեկուլյար կենսաբանության, բժշկության, ռադիոբիոլոգիական հետազոտություններում: Հոդվածում բերված աշխատանքների համառոտ շարադրանքը ցույց է տալիս այդ ճառագայթների օգտագործման հեռանկարները:

# SYNCHROTRON RADIATION (SR) AND ITS APPLICATION IN BIOLOGY

Ts. M. AVAKIAN, S. G. GEVORKIAN, A. S. KARAGUEUZIAN,  
M. M. KORKHMAZIAN

Modern huge electron circular accelerators present sources for intensive SR beams. Synchrotron beams are unique instruments for research in solid state physics, biology, medicine. The use of SR in biology opened new trends in radiation and molecular biology. The paper concerns experimental materials illustrating the prospects of SR application in biology.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Авакян Ц. М., Карагезян А. С., Даниелян А. Х., Батикян Г. Г. Радиобиология, 17, 3, 1977.
2. Алиханян А. И., Авакян Ц. М., Базирганян П. А., Карабеков И. П., ПТЭ, 3, 1974.
3. Асатурян Р. А. *Studia Biophysica*, Берлин, В-71, 1978.
4. Блохин М. И. Физика рентгеновских лучей. М., 1957.
5. Бокий Г. Б. Практический курс рентгеноструктурного анализа. М., 1951.
6. Вазина А. А., Герасимов В. С., Матюшин А. М., Франк Г. М., Авакян Ц. М., Алиханян А. И. Биофизика, 20, 801, 1975.
7. Вазина А. А. Молекулярная биология, 8, II, М., 1976.
8. Гринберг О. Я., Дубинский А. А., Лебедев Я. С. ДАН СССР, 193, 4, 848—850, 1970.
9. Гурзадян Г. А., Оганесян Дж. Б. *Астрономический журнал*, 48, 6, (1289), 1971.
10. Кулипанов Г. Н., Сиринский А. Н. Использование СИ, состояние и перспективы. Препринт ИЯФ 77-11, Новосибирск, 1977.
11. Ландау А. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. М., 1974.
12. Минасян М. А., Авакян Ц. М., Семердзьян С. П. Радиобиология, 18, 5, 1978.
13. Abstracts of the 6—International Congress of Radiation Research, Japan, May 13—19, 1979.
14. Activity Reports of SR Lab. University of Tokyo, 1978.
15. Annual Reports, DNPL, 1971.
16. Ashley C. A. SSRP. Report, 74/01, 1974.
17. Ashley C. A. Doniach S. SSRP, Report 74/02, 1975.
18. Avakian Ts. M., Karaguesian A. S.: The action of SR on *Nicotiana tabacum* Seeds. VII Int. Congress of Photobiology, Rome, 1976.
19. Avakian Ts. M., Karabekov I. P., Martirostan M. A. Preprint YE1—256, 49, 1977.
20. Avakian Ts., Karaguesian A. S., Danellian A. Ch. *Studia Biophysica B—72*, Berlin, 1978.
21. Eccles T. K. SSRP, 78/01, 1978.
22. Eisenberger P., Shulman E. G., Brown G. S., Ogawa S. PNAS, USA, 73, 491, USA, 1978.
23. Glasser O., Quimby E. H., Taglor L. S.. *Weatherwax J. I.* Physical Foundation of radiology, Hoeber, N. Y., 1944.
24. Gramer S. P., Eccles T. X., Kutzles F., Hodgron K., Mortenson L. E. SSRP 75/08, USA, 1978.
25. Ito T. Photochem. Photobiol., 25, 47, 1977.
26. Kroning R. Z. Phys., 70, 317, 1931.
27. Lineard A. L'Eclair. elektr., 16, 5, 1898.

28. *Lyle F. W., Sayers D. E., Stern E. A.* Phys. Rev. B, 11, 4825, 1975.
29. *Paul W., Brauch K., Winick H.* Proposal for a SR Facility at the Cambridge Electron Accelerator, USA, 1969.
30. Progress Report Vacuum UV, 2, Tokyo, 1979.
31. *Rosenbaum G., Holmes K. C., Witz K. C.* Nature, 230, 434—437, 1971.
32. *Savli F.* Principles of Operation of Multiwire Proportional and Drift Chambers. CERN, 77—09, 1977.
33. *Sayers D. E., Stern E. A.* Phys. Rev., 11, 4825, 1975.
34. *Schott G. A.* Ann. L. Phys., 24, 625, 1907.
35. *Shulman R. G., Eisenberger P., Blumenerg W. E., Stombough N. A.* PNAS, USA-72, 4003, 1975.
36. *Stern E. A.* Phys. Rev., 10, 3027, 1974.
37. *Stern E. A., Sayers D. E., Lyle F. W.* Phys. Rev., 11, 4836, 1975.
38. Synchrotron Radiation a Perspective View for Europe—European Science Foundation, Strasburg, 1977.
39. *Tombouliau P. H., Hartman P. L.* Phys. Rev., 102, 1423, 1956.

