

## FORMATION OF OPTICAL IMAGES WITH SYNCHROTRON RADIATION FLUX OF RELATIVISTIC ELECTRONS IN THE X-RAY GENERATOR "NESTOR"<sup>†</sup>

 Aleksandr Mazmanishvili\*,  Nataliya Moskalets

National Science Center "Kharkiv Institute of Physics and Technology"  
1 Akademichna str., 61108, Kharkiv, Ukraine

\*Corresponding Author: [mazmanishvili@gmail.com](mailto:mazmanishvili@gmail.com)

Received June 10, 2021; revised June 29, 2021; accepted August 28, 2021

When setting up physical experiments involving the use of the polarization properties of synchrotron radiation (SR) or a monoenergetic photon beam, detailed calculation of the spectral angular distribution of SR and its polarization components is of interest. Consideration of the electron beam size shows that in real conditions the radiation propagating in the plane of the equilibrium orbit will not be completely polarized, and the shape and dimensions of the angular distribution of radiation will be distorted. The motion of electrons in the uniform magnetic field and SR of the beam of relativistic particles in the storage ring of "NESTOR" are considered. The effect of the size of the electron beam with the energy of  $E=225$  MeV in the 6-dimensional space on the formation of images of the flux of quanta of SR is analyzed. It is shown that the main contribution to the formation of images is made by the two-dimensional distribution of particles along the vertical direction axis and vertical oscillations. A software simulation code has been developed, the use of which made it possible to simulate the process of optical image formations by the flux of SR quanta (Этого предложения нет в русской аннотации). The formation of images of the radiation of electrons with an energy of  $E=225$  MeV with change in the longitudinal distance  $L$  to the registration plane is considered. It is determined that at small longitudinal distances the main contribution to the image is made by the vertical distribution of particles in the beam. With an increase in the basic distance  $L$ , the contribution of the distribution of particles over vertical oscillations increases, which becomes decisive for large  $L$  value. Numerical simulation of image formation has been carried out. For the base distance of 300 cm and beam parameters with the vertical root mean square size  $\sigma_y$  of 0.2 mm and a vertical root mean square size  $\sigma_{y'}$  of 0.15 mrad, the family of angular distributions is presented in the form of two-dimensional histograms for wavelengths  $\lambda = 0.5 \lambda_c$ ,  $\lambda = \lambda_c$ ,  $\lambda = 2 \lambda_c$ , where  $\lambda_c$  is the critical wavelength of SR. The dimensions of the optical window are obtained, the size of which makes it possible to reliably register the entire flux of SR quanta for the indicated registration characteristics.

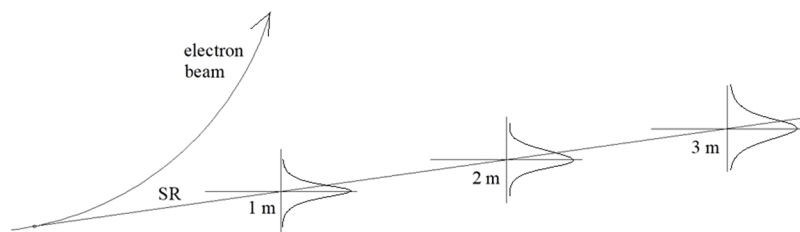
**Keywords:** electron storage ring, electron beam, synchrotron radiation, angular distribution, polarization,  $\sigma$  component,  $\pi$  component, formation of optical image.

**PACS:** 29.20.-c, 41.60.Ap, 29.27.Fh

The movement of relativistic electrons in a magnetic field is accompanied by the emission of synchrotron radiation (SR) quanta. This radiation has many remarkable properties. These include, first of all, its unconditional reproducibility and metrological calculability [1, 2]. The problem of analytically describing the properties of SR in the ideal case has received a complete solution [3]. Practical application of SR implies the possibility of calculating the parameters of the flux of SR quanta in real conditions.

### MAIN RESEARCH SUBJECT

Ideally, the emitting particle moves in a magnetic field along circular reference orbit. In practice, an intense flux of SR quanta is emitted by a distributed electron beam, conducted through an extraction channel, and recorded at a selected base distance in the image plane.



**Figure 1.** Scheme of registration of the flux of SR quanta

### MATHEMATICAL MODEL

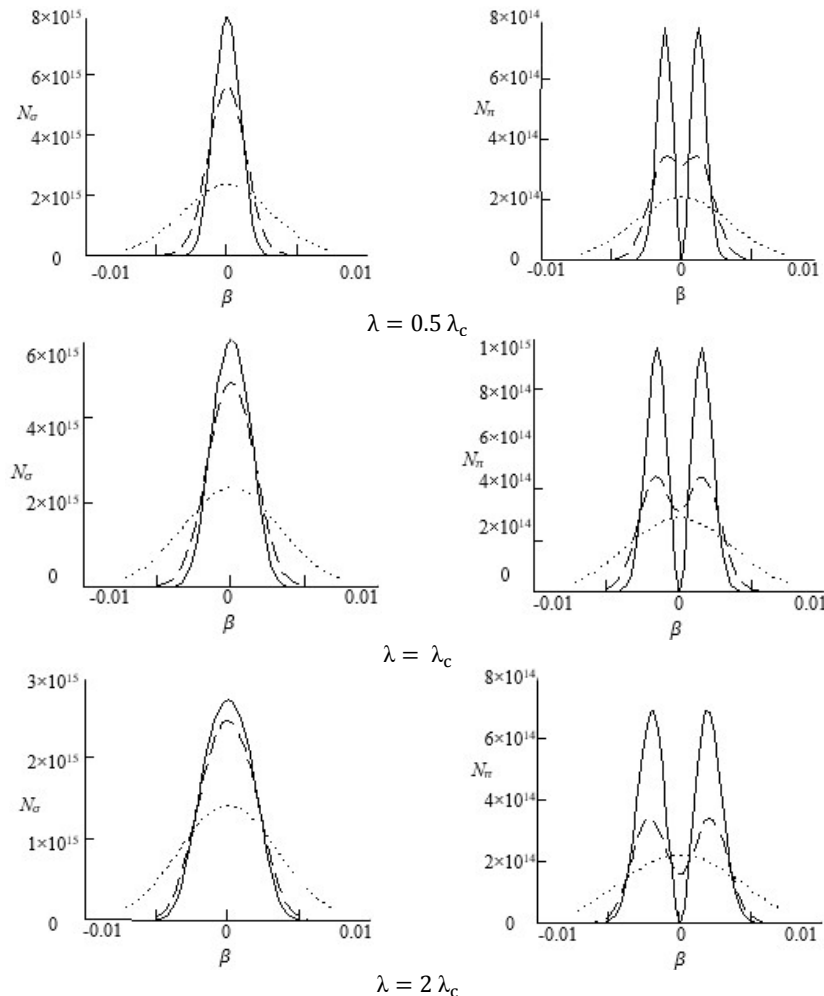
SR of a relativistic electron is characterized by a high degree of polarization [2]. In particular, in the ideal case, at zero angle ( $\psi = 0$ ) to the orbital plane, it is linearly polarized. The spectral-angular dependences of the flux of SR quanta of one electron in this case are calculated in accordance with the expressions that describe the flux density

<sup>†</sup> Cite as: A. Mazmanishvili, N. Moskalets, East. Eur. J. Phys. 3, 97 (2021), <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2021-3-15>





The rearrangement of optical images can be seen in Fig. 3. It shows the distributions that formed directly after the electron beam ( $L=5$  cm) and distributions that formed on the basis of  $L=300$  cm for different wavelengths of  $\lambda = 0.5 \lambda_c$ ,  $\lambda = \lambda_c$ ,  $\lambda = 2 \lambda_c$  in addition to ideal angular distributions. From Fig. 3 one can see that at  $L=5$  cm the angular distribution reflects the vertical imprint of the beam. At  $L=300$  cm, the angular distribution is determined by the density of vertical oscillations of the electrons.



**Figure 3.** Family of angular distributions of flux density of the  $\sigma$ -component (left) and  $\pi$ -component (right) of the polarization of the SR at the electron energy  $E=225$  MeV and wavelengths  $\lambda = 0.5 \lambda_c$ ,  $\lambda = \lambda_c$ ,  $\lambda = 2 \lambda_c$ , respectively. Line – ideal distribution; dotted line – distribution at  $L=5$  cm, points – distribution at  $L=300$  cm

### CONCLUSION

The paper presents analytical expressions are obtained for the intensity of the flux of SR quanta of given wavelength for the selected registration geometry and algorithms for calculating the fluxes under consideration are proposed. It is shown that the forming optical image is the convolution of the normal density of particles in the beam with the angular distribution describing the emission of quanta. The dependences characterizing the intensity and spectral-angular properties of the SR photon flux are given. For the selected base distance and beam parameters with a vertical root-mean-square size  $\sigma_y$  and a root-mean-square size  $\sigma_{y'}$  of vertical oscillations, the family of angular distributions is presented, which are presented in the form of two-dimensional histograms. The dimensions of the optical window are obtained, the value of which makes it possible to reliably register the flux of quanta of SR for the indicated registration characteristics. The paper presents the main characteristics of the angular distribution of the flux of SR quanta of relativistic electron beam in the storage ring of the "NESTOR" with a maximum electron energy of  $E_{\max}=225$  MeV.

### ORCID IDs

✉ Aleksandr Mazmanishvili, <https://orcid.org/0000-0003-0373-0626>; ✉ Nataliya Moskalets, <https://orcid.org/0000-0002-2163-9116>

### REFERENCES

- [1] I. M. Ternov, V. V. Mikhailin, *Синхротронное излучение. Теория и эксперимент. [Synchrotron radiation. Theory and experiment]*, (Energoatomizdat, Moscow, 1986, pp. 219-250 (in Russian).

- [2] G. Bruk, *Циклические ускорители заряженных частиц [Cyclic charged particle accelerators]*, (Atomizdat, Moscow, 1970) (in Russian).
- [3] N. Kulipanov, A. N. Skrinskii, *Sov. Phys. Usp.* 20, 559 (1977) <http://dx.doi.org/10.1070/PU1977v020n07ABEH005444>
- [4] I.M. Karnaukhov et al., *Problems of Atomic Science and Technology*, series "Nuclear Physics Investigation", №5, (48), 156-159 (2007), <https://vant.kipt.kharkov.ua/TABFRAME.html>
- [5] A.A. Shcherbakov et al., in: *4th International Particle Accelerator Conference*, (IPAC, Shanghai, 2013), pp.2253-2255, <http://hal.in2p3.fr/in2p3-00823292>
- [6] V. Androsof et al., in: *9th International Particle Accelerator Conference*, (IPAC, Vancouver, 2018), pp. 4307-4309, <https://accelconf.web.cern.ch/ipac2018/papers/thpmk008.pdf>

**ФОРМУВАННЯ ОПТИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПОТОКОМ КВАНТІВ  
СИНХРОТРОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ ЕЛЕКТРОНІВ  
В РЕНТГЕНІВСЬКОМУ ГЕНЕРАТОРІ «НЕСТОР»**

**О.С. Мазманішвілі, Н.В. Москалець**

*Національний Науковий Центр Харківський фізико-технічний інститут  
вул. Академічна, 1, 61108, Харків, Україна*

При постановці фізичних експериментів, пов'язаних з використанням поляризаційних властивостей синхротронного випромінювання (СВ) або моноенергетичного пучка фотонів, представляє інтерес детальний розрахунок спектрального кутового розподілу СВ і його поляризаційних компонент. Урахування розмірів пучка показує, що в реальних умовах випромінювання, що поширюється в площині рівноважної орбіти, не буде повністю поляризованим, а форма і розміри кутового розподілу випромінювання будуть спотворені. Розглянуто рух електронів в однорідному магнітному полі і СВ пучка релятивістських частинок в накопичувачі "НЕСТОР". Проаналізовано вплив на формування зображень потоку квантів СВ розмірів пучка електронів з енергією  $E=225$  MeV в 6-вимірному просторі. Показано, що в формування зображень основний внесок вносить двовимірний розподіл часток по вертикалі і по вертикальним коливанням. Побудовано програмний засіб, використання якого дало можливість промоделювати процес формування оптичних зображень потоком квантів СВ. Розглянуто формування зображень випромінювання електронів з енергією  $E=225$  MeV при зміні поздовжньої відстані  $L$  до площини реєстрації. Визначено, що на малих поздовжніх відстанях основний внесок в зображенні вносить вертикальний розподіл часток в пучку. Зі збільшенням базової відстані  $L$  зростає внесок розподілу часток по вертикальним коливанням, який для великих  $L$  стає визначальним. Проведено чисельне моделювання формування зображень. Для базової відстані в 300 см і параметрів пучка з вертикальним середньоквадратичним розміром  $\sigma_y$ , що становить 0.2 мм, і середньоквадратичним розміром  $\sigma_y$  вертикальним коливань, що становить 0.15 мрад, наведено сімейство кутових розподілів, які оформлені у вигляді двовимірних гістограм для довжин хвиль  $\lambda = 0.5 \lambda_c$ ,  $\lambda = \lambda_c$ ,  $\lambda = 2 \lambda_c$ , де  $\lambda_c$  – критична довжина хвилі СВ. Отримано розміри оптичного люка, величина яких дозволяє гарантовано реєструвати весь потік квантів СВ для зазначених характеристик реєстрації.

**Ключові слова:** накопичувач електронів, електронний пучок, синхротронне випромінювання, кутовий розподіл, поляризація,  $\sigma$ -компонента,  $\pi$ -компонента, формування оптичного зображення.