

## 読者投稿欄

## Edge Radiation についてのコメント

佐々木 泰三 (JASRI-Spring-8)

放射光第11巻第5号のトピックス欄に掲載された N. V. Smolyakov の Edge Radiation に関する論文<sup>1)</sup>は大変面白かった。この論文はシンクロトン型の加速器に付き物の「直線部」で、特に Undulator, Wiggler のような周期磁場を挿入しなくても、偏向電磁石の端末から染み出る「周辺磁場 Fringe Field」の効果で干渉性の放射光が発生していることを指摘し、それを古典電気力学の公式を用いて正攻法で解析している。

実は我々も1981年に小さな試験用 Undulator を製作して、東大物性研の SOR-RING に挿入して美しい可視光の虹を観察したときに偶然この事実気がついた。そのカラ

一写真はこの試験結果を報告した1982年の JJAP に掲載されている<sup>2)</sup>。その時最初に気がついたのは、380 MeV で観察した Undulator の可視光スペクトルとして光軸から約 5 mrad 離れたところに出る虹のほかに、約 31 eV の

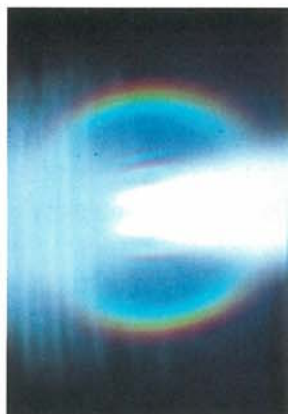


図1 380 MeV で運転する SOR-RING に挿入した10周期アンジュレーターの虹。可視光は軸から約 5 mrad 方向に出る。中央部に出る虹は edge radiation によるものである。水平面を中心とする白い帯は普通の放射光の白色光。画面左側の縦縞はスクリーンのトレース紙の皺<sup>2)</sup>。

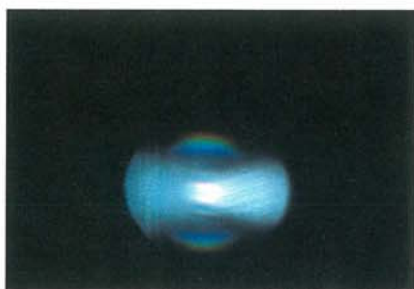


図2 磁石列を除去したときの虹。

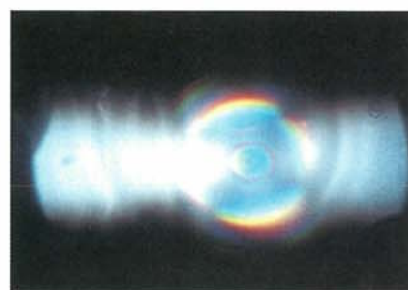


図3 200 MeV 運転時の同じアンジュレーターの虹。垂直軸から30°傾いた偏光子で垂直成分を除去してある。中央部の虹は図1, 2 と異なり、真円に見える。この部分の偏光特性ははっきりしない。

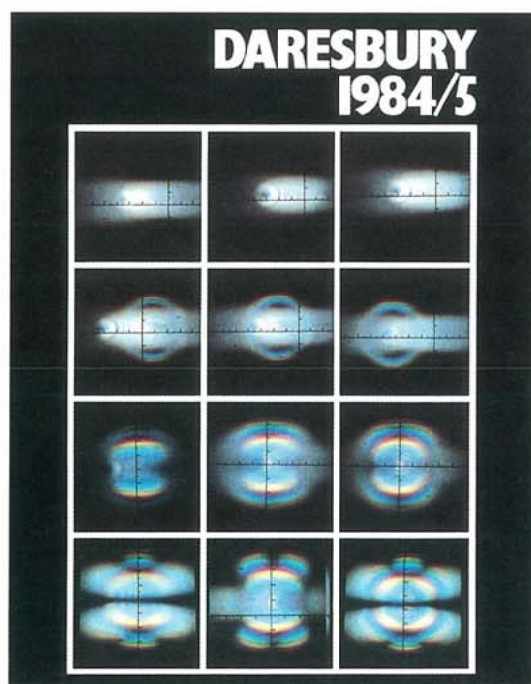


図4 文献4)。最上列が磁石列の磁場の無い状態での映像である。

極紫外光があるはずの中心付近にもう一つ可視光の虹が現れたためである(図1)。何故これが見えるのか不思議に思った我々は、一人が軌道の内側に入って磁石列を軌道から引き抜いてみた。この試作機は永久磁石列を架台ごと軌道に直交するレールに乗せて内側に手で引き抜ける仕掛けになっていた。

さて磁石を引き抜いてみると、驚いたことに Undulator の虹は完全に消えるが、真ん中の虹はそのまま同じ場所に残っていた(図2)。その形は Undulator 本来の虹が綺麗な円形なのに対して、磁石列があってもなくてもやや扁平な、軌道面をはさんで上下に分かれた虹になっている。図1がこれと多少違っている点は、磁石列を挿入した場合は中心部の虹の外側に、更に高調波と思われる複数の虹が見えることである。同様の虹は電子エネルギーを200 MeV に下げて運転したときも現れたが、この場合は様子が違って、中心にある edge radiation の虹も真円である(図3)。電子ビームを軌道に貯めた状態で磁石を出し入れすれば、磁場の空間分布は当然変化するし、時間的にも変化するから、これは電子軌道には複雑な乱れを引き起こすはずである。この過渡現象を観察していると、抜くときも入れるときも確かにパターンは大きく乱れるが、何度やっても特にビームが無くなったり、減ったりすることは無く、同じパターンが再現する。この途中のパターンの変化はどうかやら抜き方入れ方に依存し、その度に少しずつ違うのでとても面白い。ビデオにでも撮っておけば良かった、と今になって後悔している。

磁石列を挿入しなくても直線部の前方で光を見れば、白色である普通の放射光に重なって着色した虹のパターンが見える、ということはそれまで我々は全く予想していなかったもので、これは何か新発見をしたのか、と思った。我々が1981年にその実験をやった目的は Undulator の feasibility study であって、計算で得られるスペクトルと強度が本当に得られるのかどうか、また挿入によって蓄積リングの電子軌道の位置や安定性に何か悪い影響が出るかどうか、を知ることであった。この「発見」はいわば「おまけ」であって、我々はこれを深追いする気は無かったが、とにかく思いがけない現象に出会って不思議に思い、加速器の偏向電磁石に詳しい専門家の意見も聞いた。直線部にはその両

側に変化の向きが反対の「周辺磁場」は必ずあり、そこでは垂直磁場は少なくとも1周期、もしオーバーシュートがあれば数周期の変化をしているかも知れぬ。そうだとすれば電子は直線部で蛇行運動をするから、こういう干渉による虹が出ることは定性的にはすぐ予想できることであろう。そこで高工研の情報資料室に行って文献を調べてみた。その結果、これは我々の「新発見」ではなく、それを予想して可視光で観測してみた、という論文を見つけて、ああやっぱり、と思った。これがこの Smolyakov も引用している1979年の Nikitin の論文である<sup>3)</sup>。但しこの論文では直接可視光を肉眼で目視したり、撮影したものではなく、光電記録で証明したものである。

我々が JJAP にそのカラー写真を載せたのは実験から1年遅れた1982年の12月号だったが、1982年の初め頃にはこれと同じ虹の写真が四つ切り大のプリントで文部省の正面玄関に1ヶ月くらい PF の宣伝と一緒に飾られていたから、これを見た人はかなり多いはずである。それは未だ PF が動き出す前だったから、事によると放射光とはこういうものか、という誤解を生んだかもしれない。それから3年くらい後になって、英国の Daresbury 研究所の年次報告の表紙に同様の美しい写真(図4)が掲載された<sup>4)</sup>。この場合も永久磁石列があるときと、無い時の両方のパターンが示されていて、眺めていると興味は尽きない。この写真では edge radiation と undulator radiation の中心がひどく離れていたり、磁場を強くして行くと一致したりするのは何故か？ これも面白い。Smolyakov の論文は計算で、これから HISOR で実際の観測が始まるものと期待しているが、解明を待つ謎はたくさんあって、しばらくは色々遊んでみた上での「珍発見」を期待したい。

#### 参考文献

- 1) N. V. Smolyakov : 放射光 **11**, 18 (1998).
- 2) H. Kitamura, S. Tamamushi, T. Yamakawa, S. Sato, Y. Miyahara, G. Isoyama, H. Nishimura, A. Mikuni, S. Asaoka, S. Mitani, H. Maezawa, Y. Suzuki, H. Kanamori and T. Sasaki: Japan. J. Appl. Phys. **21**, 1728 (1982).
- 3) M. M. Nikitin, A. F. Medvedev and M. V. Moiseev: Sov. Tech.-Phys. Lett. **5**, 347 (1979).
- 4) Daresbury 1984/5 表紙.