

## История создания мюонных телескопов и годоскопов.

Боте и Кольхерстеру (Bothe, Kolhorster, 1929) принадлежит идея метода совпадений, который позволяет выделить и определить число частиц, имеющих определенное направление. Впоследствии Росси (1930) разработал специальную радиотехническую схему совпадений. Одновременная регистрация одним и тем же набором счетчиков вертикальной и направленной интенсивности космических лучей впервые была осуществлена в Берлине (Kolhorster, 1941) и Стокгольме (Alfven, 1943). Еще один важный шаг был сделан в работах (Malmfors, 1948; Malmfors 1949; Elliot, 1949.), предложившие использовать скрещенные телескопы и, тем самым, была выделена анизотропная часть вариаций космических лучей. Скрещенные телескопы позволяют обойти проблему метеорологических эффектов, поскольку частицы приходящие с противоположных направлений проходят одинаковую толщину атмосферы, находящуюся примерно в одинаковых метеорологических условиях (Elliot, 1950). С этого момента началась разработка телескопов различной геометрии.

В период МГГ были созданы телескопы на гейгеровских счетчиках. К этому моменту в мире было создано около двух десятков мюонных телескопов. Однако уже на начальном этапе исследования вариаций космических лучей стало ясно, что статистические точности имеющихся приборов недостаточны для решения поставленных задач. И такого класса телескопы, наряду с нейтронными мониторами Симпсона, были вытеснены другими приборами большой статистической точности, создаваемые к тому времени, так называемыми суперприборами. Такие детекторы строились как на счетчиках, так и на пластических сцинтилляторах. Причем, телескопы на счетчиках для регистрации мюонной компоненты были вытеснены телескопами на пластических сцинтилляторах.

Для космофизических задач, как правило, достаточно проводить измерения в простейшем счетном режиме. Поэтому, если не решается специальная задача, хорошие спектрометрические возможности сцинтилляционных телескопов не используются. Однако уникальность такого прибора намного повышает расходы на его создание и эксплуатацию. Есть еще один важный недостаток сцинтилляционных детекторов для решения космофизических задач, а именно систематический дрейф в сторону уменьшения эффективности регистрации на 1% в год за счет изменения собственного усиления ФЭУ и квантового выхода сцинтиллятора. Кроме того, в счете сцинтилляционных детекторов, несмотря на мертвое время несколько десятков наносекунд, имеется достаточно большой вклад () от случайных совпадений, поскольку для сцинтилляционных телескопов отбор по направлениям выполняется на двойных совпадениях.

С появлением больших пропорциональных счетчиков, проектирование телескопов различной геометрии на таких счетчиках осуществлялось многократно (Бленару, 1969; Блох, 1969b; Француз, 1974; Янчуковский, 1986), но реально такой телескоп к настоящему времени работает только в Якутске ( , 19 ). В последние годы было создано еще два счетчиковых телескопа – это на горе Норикура (Ohashi, 1997) и гиганский телескоп индийско-японского проекта в Ooty (Kawakami, 1999).

Сейчас ясно, что счетчиковые мюонные телескопы более просты в эксплуатации, несомненно, обладают лучшей долговременной стабильностью и являются великолепным инструментом для решения космофизических задач.

В качестве возможного стандартного телескопа Беркович (*Bercovitch M., "A simple semi-cubical plastic scintillator meson megatelescope", Deep River Laboratory, Canada, 1962*) предложил в качестве экрана использовать свинец супермонитора. В качестве таких

реализуемых проектов можно назвать телескопы в Mexico, Новосибирск, YangBaJing, Yerevan, Москва.

## Литература

- Elliot H., Dolbear D. Directional measurements on the diurnal variation of cosmic ray intensity. Proc. Phys. Soc., 63, № 362A, p. 137, (1950).
- Bothe W., Kolhorster W., Das Wesen der Hohenstrahlung, Ztschr. Phys., Bd. 56,s. 751-777,1929.
- Kolhorster W. Phys Zs., **42**, 55, 1941.
- Alfven H., Malmfors K. Ark. Mat. Astr. Fys, **29A**, No 24, 1943
- Malmfors K., Ark. Astr. Fys., **32A**, N8, 1948; Malmfors K., Tellus, **1**, 1949;
- Elliot H., Proc. Phys. Soc., **A92**, 369,1949.
- Бленару Д. Азимутальный телескоп на пропорциональных счетчиках для подземной регистрации космических лучей, Сб. “Космические лучи”, М., Наука, No 10, 30-32, 1969.
- Рекомендация группы по космическим лучам Специального комитета по МГГ от 15 сентября 1956 г.
- Блох Я.Л. Стандартный кубический телескоп, Сб. “Космические лучи”, М., Наука, No 3, 80-104, 1961.
- Иноземцева О.И., Капитонов Ю.А. Азимутальный телескоп для исследования вариаций космических лучей в зависимости от прихода первичного излучения, Сб. “Космические лучи”, М., Наука, No 3, 105-121, 1961.
- Блох Я.Л., Бленару Д., Дмитриев А.Б., Е.А., Леонов В.Х., Мавлобахшев И. Большие пропорциональные счетчики для исследования вариаций космических лучей, Сб. “Космические лучи”, М., Наука, No 10, 36-38, 1969а.
- Блох Я.Л., Бленару Д., Дорман Л.И., Леонов В.Х. Пятиканальный азимутальный подземный телескоп космических лучей на пропорциональных счетчиках, Сб. “Космические лучи”, М., Наука, No 11, 166-169, 1969b.
- Блох Я.Л., Дмитриев А.Б., Ерошенко Е.А., Леонов В.Х., Француз Э.Т. Об использовании счетчиков в пропорциональном режиме для регистрации мюонной компоненты космических лучей, Сб. “Космические лучи”, М., Наука, No 14, 128-131, 1974.
- Француз Э.Т. Телескоп для исследования вариаций космических лучей высоких энергий на пропорциональных газоразрядных счетчиках, Сб. “Космические лучи”, М., Наука, No 14, 157-161, 1974.

- Француз Э.Т. “Исследование больших пропорциональных счетчиков и применение их в мюонных супертелескопах для регистрации космических лучей под Землей на глубинах до 100 м.в.э.”, Автореферат канд. диссертации, М., НИИЯФ МГУ, 1971, 16 с.
- Янчуковский В.Л. “Регистрация направленной интенсивности космических лучей”, Препринт N 20, Институт геологии и геофизики СО АН, Новосибирск, 24 с., 1986.
- Янчуковский В.Л. “Температурная зависимость больших пропорциональных счетчиков для регистрации космических лучей”, Препринт N 13, Институт геологии и геофизики СО АН, Новосибирск, 11 с., 1990.
- Янчуковский В.Л. “Большие пропорциональные счетчики для регистрации космических лучей”, Геоматематизм и аэрономия, **34**, No 2, 151-154, 1994.
- Янчуковский В.Л., Борисов В.Л., Красавин В.В., Чирков Н.П. “Комплексная установка для регистрации космических лучей в области энергий”, Препринт N 7, ЯФ СО АН СССР, Якутск, 1976.
- Либин И.Я., Бакатанов В.Н., Блох Я.Л., Воеводский А.В., Дадыкин В.Л., Дорман Л.И. “Сцинтилляционный супертелескоп”, Сб. “Космические лучи”, М., Наука, No 15, 137-140, 1975.
- Калашникова В.И., Козодаев М.С., “Детекторы элементарных частиц”, М, Наука, 1966.
- Ohashi Y., Okada A., Aoki T., Mitsui K., Kojimoto K., Fujimoto K. “New narrow angle muon telescope at Mt. Noricura”, Proc. 25<sup>th</sup> ICRC, Durban, South Africa, **1**, 441-444, 1997.
- Рехин Е.И., Чернов П.С., Басиладзе С.Г., “Метод совпадений” М., Атомиздат, 1979.
- Nagashima K., Fuji Z., Sakakibara S., Fujimoto K., Ueno H. Report of cosmic ray research laboratory, N3, Nagoya, 1978.
- Nagashima K., Fujimoto K., Sakakibara S., Morishita I., Tatsuoka, Local-time-dependent precursory-shock decrease and post-shock increase of cosmic rays, produced respectively by their imfcollimated outward and inward flows across the shock responsible for Forbush decrease, Planet. Space Sci., **40**, 1109-1137, 1992.
- Nagashima K., Fujimoto K., Morishita I., Interplanetary magnetic field collimated cosmic ray flow across magnetic shock from inside of Forbush decrease, observed as local-time-dependent precursory decrease on the ground, JGR, **99**, 21, 419-21,427,1994.
- Борог В.В., Буринский А.Ю., Дронов В.В. “Мюонный годоскоп для исследования солнечно-земных связей”, Изв АН, сер. физ, **59**, N 4, 191-194, 1995.
- Borog V., Burinskij A., Gvozdev A., Dronov V., Petrukhin A. “Large aperture muon hodoscope for studies in solar-terrestrial physics”, Proc. 24<sup>th</sup> ICRC, Rome, **4**, 1291-1295, 1995.
- Yasue S., Munakata K., Kato C., Kuwabara T., Akahane S., Koyama M., Fujii Z., Evenson P., Bieber J., “Design of a Recording System for a Muon Telescope Using FPGA and VHDL”, Proc. 28<sup>th</sup> ICRC, Japan, **6**, 3461-3464, 2003.
- Ito N. Proc. 25<sup>th</sup> ICRC, Durban, ?, - , 1997. HE 6.1.9
- Kawakami S., Fujimoto K., Gupta S.K., Hayashi Y., Ito N., Jain A., Kojima H., Mohanty D.K., Nonaka T., Noto S., Ravindran K.C., Ssatomi K., Sivaprasad K., Tanaka H., Toyofuku T., Viswanathan K., Yoshikoshi T. The first outcome on the 3-D feature of Forbush decrease events from large muon telescope of GRAPES III at Ooty, ”, Proc. 27<sup>th</sup> ICRC, Hamburg, **2**, 3473-3476, 2001.
- Kawakami S., Aikawa Y., Ikeda N., Gupta S.K., Hayashi Y., Ito N., Jain A., Kojima H., Mohanty D.K., Sasaki K., Sasano M., Sivaprasad K., Sreekantan B.V., Tanaka H., Tonwar

- S.C. Observation of cosmic ray modulation and possible detection of the solar flares with GRAPES III muon telescopes at Ooty, ”, Proc. 26<sup>th</sup> ICRC, Salk like Syty, **7**, 171-174, 1999.
- Duldig M. 2000, Muon Observations, Space Science Reviews **93**, 207-226, 2000.
- Munakata K., Bieber J., Yasue S., Kato C., Koyama M., Akahane S., Fujimoto K., Fujii Z., Humble J. and Duldig M. Precursors of Geomagnetic Storms Observed by Muon Detector Network, Preprint of Bartol Reseach Institute BA-00-11; J.of Geophys. Res., in press., 2000,
- Munakata K., Bieber J., Yasue S., Kato C., Fujii Z., Fujimoto K., Humble J. and Duldig M., Trivedi N., Gonzales W., Tsurutani B., Schuch N. A prototype muon detector network covering a full runge of cosmic ray pitch angles, Proc. 27<sup>th</sup> ICRC, 2001, **9**, 3494-3497.
- Fujimoto K., Inoue A., Murakami K., Nagashima K. “Coupling Coefficients of Cosmic Ray Daily Variations for Meson Telescopes”, Report of cosmic ray research laboratory, N9, Nagoya, 1984.